ACADÉMIE DES SCIENCES.

SÉANCE DU LUNDI 29 FÉVRIER 1932.

PRÉSIDENCE DE M. ROBERT BOURGEOIS.

MÉMOIRES ET COMMUNICATIONS

DES MEMBRES ET DES CORRESPONDANTS DE L'ACADÉMIE.

Après le dépouillement de la Correspondance, M. le **Président** s'exprime en ces termes :

Mes chers Confrères,

Nous venons de nouveau d'être cruellement éprouvés. Comme si la mort voulait se venger du défi que je paraissais lui avoir porté, en souhaitant qu'aucun deuil ne vienne vous atteindre pendant cette année, elle frappe sur notre Compagnie à coups redoublés. Nous sommes à peine revenus des obsèques de notre regretté confrère, le Général Ferrié, qu'une nouvelle absolument imprévue nous apprend la disparition d'un de nos confrères les plus vénérés, d'un des membres de l'Académie les plus assidus à nos séances, M. **Guillaume Bigourdan**, de notre Section d'Astronomie.

Lundi dernier encore, il était au milieu de nous toujours aussi alerte, toujours aussi vivant, et rien ne pouvait faire prévoir que nous le voyions pour la dernière fois. Il a été frappé subitement, en pleine vigueur, dans la journée d'hier.

Né à Sistels (Tarn-et-Garonne) le 6 avril 1851, il avait suivi, très jeune encore, les cours de l'École d'astronomie de Paris, qui malheureusement a disparu depuis bien des années.

Appelé à l'Observatoire de Toulouse en 1877 par M. Tisserand qui avait apprécié ce jeune étudiant, très travailleur, il y fut chargé des observations à la lunette méridienne et commença dès cette époque des études historiques sur les anciens astronomes et les anciens observatoires, études qu'il a tou-

jours continuées depuis. En 1879 il quittait Toulouse pour venir assister M. Tisserand à l'Observatoire de Paris, dans ses travaux à l'équatorial de la Tour de l'Ouest. Il restait ensuite seul chargé de cet instrument qu'il n'a plus quitté tant qu'il a observé.

Notre confrère s'est surtout, et presque exclusivement, adonné à l'astronomie de position, c'est-à-dire à la détermination précise des coordonnées des corps célestes, étoiles, nébuleuses, comètes, et ses travaux ont eu principalement pour objet de perfectionner les instruments et les méthodes de mesure afin d'obtenir des observations à la fois nombreuses et précises. C'est à la précision surtout qu'il s'est attaché avec une conscience que l'on retrouve dans tout ce qu'il a fait. On lui doit de nombreux travaux sur les étoiles doubles dont il a étudié les couples et les révolutions ; sur les nébuleuses surtout, où il a révisé les positions de nébuleuses anciennes, et fixé les positions de nombreuses nébuleuses nouvelles, travail que notre confrère M. Wolff qualifiait de magistral. Enfin, il a fait aussi de nombreux travaux sur les comètes, les a observées avec soin depuis 1880 et en a publié une liste chronologique depuis l'origine jusqu'en 1900.

Comme nous l'avons dit, il s'attachait toujours à perfectionner de plus en plus les instruments et les méthodes de mesure, cherchant surtout à éliminer les erreurs soit accidentelles, soit systématiques qui affectent les observations ; plusieurs de ses perfectionnements ont été adoptés à l'étranger. Il a été, de l'avis de tous ses collègues de l'Observatoire, un observateur hors de pair.

L'astronomie de position où il était passé maître lui donnait une compétence toute particulière en ce qui concerne le service de l'heure. Aussi, lorsque Paris fut choisi comme siège du Bureau International, il fut Directeur du service jusqu'en 1928, époque à laquelle à la suite de nouvelles dispositions cette direction passa aux mains du Directeur de l'Observatoire de Paris.

Bigourdan avait pris part à plusieurs expéditions scientifiques.

Dès 1882, étant encore astronome adjoint, il prenait part aux observations du passage de Vénus, à la Martinique.

En 1892, il allait au Sénégal observer l'éclipse totale de Soleil, et déterminait en même temps à Joal, l'intensité de la pesanteur.

En 1900, il se rendait en Espagne et en 1905 en Tunisie, toujours à l'occasion d'éclipses totales de Soleil, il en publiait les résultats dans une notice de l'*Annuaire* du Bureau des Longitudes.

Ses travaux lui avaient valu à plusieurs reprises des récompenses de notre

Compagnie, et en 1904 il devenait notre confrère dans la Section d'Astronomie, succédant au regretté Callandreau. Élu Vice-Président en 1923, il présidait nos séances durant l'année 1924.

J'ajoute que le Bureau des Longitudes l'avait élu et présenté au Ministre de l'Instruction publique comme Membre titulaire en 1903.

Malgré les occupations nombreuses que lui donnaient ses fonctions de Directeur de Service de l'Heure jusqu'en 1928, notre Confrère consacrait depuis une vingtaine d'années une grande partie de son infatigable activité à la publication de remarquables notices dans l'*Annuaire* du Bureau des Longitudes.

Ces notices très intéressantes touchent à des questions très diverses, mais surtout à ses études favorites, le calendrier, l'heure, la météorologie, la sismologie.

Toutefois il n'abandonnait pas les questions purement astronomiques et c'est ainsi qu'en 1908 il donnait un travail sur les distances des astres et particulièrement des étoiles fixes et en 1909 une notice sur les étoiles variables. Enfin, il avait entrepris depuis 1928, toujours dans l'*Annuaire*, la publication d'une très complète étude historique sur le Bureau des Longitudes depuis sa fondation jusqu'à nos jours; et comme jusqu'en 1854 le Bureau a effectivement dirigé l'Observatoire de Paris, cet historique du Bureau des Longitudes est en quelque sorte aussi l'histoire de l'Observatoire pendant la première moitié du XIXe siècle. Ce travail considérable devait s'étendre sur plusieurs années; commencé dans l'*Annuaire* de 1928, il était continué les années suivantes; la quatrième partie, parue tout récemment en janvier 1932, porte la mention « à suivre »; hélas la mort, comme cela arrive trop souvent, vient d'interrompre son travail.

Bigourdan, comme nous venons de le voir, en outre d'un remarquable observateur, était aussi un savant érudit, je dirai presque un Bénédictin de l'Astronomie. Il s'intéressait à toutes les sciences qui de près ou de loin s'y rapportent, apportant à tous ses travaux une conscience qui lui faisait pousser ses recherches aussi loin que cela était possible.

J'en donnerai comme exemple la notice qu'il faisait paraître en 1914 sur le jour et ses divisions, le système des fuseaux et l'Association Internationale de l'Heure. Sous ce titre qui paraît surtout se rapporter à l'époque présente, il passe en revue tout le problème de la division et de l'origine du jour depuis l'antiquité la plus reculée, chez les Babyloniens, les Égyptiens, les Indous, les Hébreux, les Perses, les Grecs, les Romains; il examine et discute les instruments et les méthodes employés, ne passant qu'ensuite

aux modernes, aux temps actuels, au système des fuseaux et aux lois qui l'ont établi et imposé.

Il traitait de la même façon, avec autant de conscience que de savoir, toutes les questions qu'il abordait. Sa grande érudition se retrouvait partout, de telle sorte que l'ensemble de ses publications fournit, en même temps qu'une remarquable série d'études spéciales, une large contribution à l'histoire de l'Astronomie.

Ses lieux de prédilection étaient la Bibliothèque de l'Observatoire et celle de l'Institut; c'est là qu'on le trouvait toujours et qu'il fallait aller le chercher quand on voulait lui parler. Assis à une petite table, il compulsait des manuscrits, des notes, souvent aussi de gros volumes, interrompant son travail sans le moindre mouvement d'impatience et se mettant toujours avec une entière bonne grâce à la disposition de son interlocuteur.

Courtois et affable, tout en gardant et défendant nettement et énergiquement sa manière de voir, il était par son bon sens et ses connaissances étendues d'un concours des plus utiles dans toutes les discussions, en particulier dans celles du Bureau des Longitudes, où sa disparition causera, comme ici, un grand vide.

Telle a été sa vie, toute de travail, toute de dévouement à la Science.

Il avait, comme vous le savez, épousé la fille de notre Confrère l'Amiral Mouchez et de leur union étaient nés neuf enfants. Inclinons-nous devant une aussi belle famille.

Je serai, j'en suis certain, votre interprète à tous en envoyant à Madame Bigourdan, à ses enfants et petits-enfants, toutes nos condoléances et l'expression de notre vive sympathie dans le grand malheur qui les frappe.

La séance publique sera levée, en signe de deuil, après l'élection et les présentations inscrites à l'ordre du jour.

M. le Secrétaire perpétuel dépose sur le bureau le tome LX (1931) des *Mémoires de l'Académie des Sciences* et annonce qu'il est en distribution au Secrétariat.

LITHOLOGIE. — *La composition des laves orthosiques des volcans du Tibesti.* Note de M. A. LACROIX.

L'étude des matériaux recueillis par M. Tilho (¹) dans le massif de l'Emi Koussi avait mis en évidence la présence, dans ce grand volcan, de basaltes et de roches de couleur claire (phonolites, trachytes, rhyolites, ainsi qu'une syénite); quelques échantillons provenant du Nord-Ouest avaient permis de penser à une composition plus compliquée des autres parties du Tibesti.

Les très nombreux documents rapportés par M. Dalloni, permettent la démonstration de l'exactitude de cette hypothèse. Ce géologue a fait voir (²) que, comme au Koussi, dans tout le massif du Tibesti, les éruptions les plus anciennes et aussi les plus récentes sont de nature basaltique ; les éruptions intermédiaires ayant fourni des roches leucocrates. Mais, à l'inverse de ce qui se passe au Koussi, les types trachytiques et phonolitiques sont exceptionnels, les rhyolites jouent d'ordinaire le rôle principal et elles sont de nature variée.

La présente Note a pour objet d'exposer les conclusions de l'étude lithologique d'une partie de cet ensemble, celle qui est constituée par les roches leucocrates orthosiques, les détails minéralogiques et les analyses exécutées par M. Raoult devant être publiés ultérieurement.

Les *rhyolites* constituent des coulées et des dômes, mais elles se présentent aussi à l'état de matériaux pyroclastiques de nature ponceuse, accumulés sous forme de brèches et de tufs blancs, à grain très fin; on trouve encore des blocs d'obsidienne et, plus rarement, de pechstein. De couleur variée, blanches, grises, vertes, bleuâtres, rouges par oxydation, ces roches sont lithoïdes ou vitreuses, avec parfois alternance de lits ou de masses sphérolitiques, à structures très diverses. Le quartz existe assez rarement à l'état primaire en phénocristaux; ces roches rhyolitiques sont donc plus souvent des *rhyolitoïdes* que de véritables rhyolites. Des phénomènes d'autopneumatolyse ayant produit le remplissage, très cristallin et généralement sphérolitique, fedspathique et quartzeux, de lithophyses ont été assez fréquents, mais sans doute moins abondants que dans bien d'autres centres volcaniques similaires. Toutes ces particularités sont

(¹) A. LACROIX et TILHO, *Comptes rendus*, 169, 1929, p. 402.
(²) M. DALLONI, *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 626.

indépendantes des variations chimico-minéralogiques qu'il me reste à considérer.

La plus grande partie de ces roches rhyolitiques sont alcalines et particulièrement hyperalcalines; dans ce dernier cas, le métasilicate ferrosodique est une amphibole bleue du groupe arfvedsonite-riebeckite, plus souvent que l'ægyrine. La teneur en est variable, souvent réduite à quelques unités pour 100 (*comendites*), elle dépasse fréquemment 12,5 pour 100 (*pantellérites*) et même 20 pour 100; dans cette série, j'ai rencontré la continuité des passages entre les termes extrêmes, sur quoi j'ai insisté déjà dans l'étude des laves de l'Afar et de la Corée.

La teneur en alcalis est élevée, et d'ordinaire les proportions de la potasse et de la soude sont peu différentes, mais la soude prédomine d'ordinaire un peu sur la potasse. Dans cette série, se voient des types très siliceux qui sont les plus riches en métasilicates et d'autres, où la teneur en silice s'abaisse suffisamment pour que la roche puisse être considérée comme passant au trachyte.

Les formules magmatiques pour les comendites sont du type I'-I(II).4.1.3'-3(4), et pour le passage au trachyte (Toussidé), I(II).(4)(5).1.(3)(4); pour les pantellérites, I(II)-II.3'-4.1.3, et pour le type passant au trachyte (Emil Koussi), II.4'.1.'4. On voit que, dans tous les cas, les types les moins riches en silice libre sont les plus sodiques.

Tandis qu'en moyenne ces rhyolites sont relativement peu cristallines, dans la collection étudiée se trouvent quelques roches holocristallines (*microgranites*) de même composition minéralogique et chimique que les comendites; il est vraisemblable qu'elles proviennent d'intrusions ou de blocs projetés en même temps que les ponces.

Tout cet ensemble est d'une fraîcheur remarquable, aussi le calcul des analyses met-il en évidence les métasilicates alcalins, contrairement à ce qui a lieu pour le plus grand nombre des phonolites.

Les rhyolites simplement alcalines ne diffèrent des hyperalcalines, au point de vue chimique, que par l'absence, virtuellement aussi bien que matériellement, des métasilicates ferro-alcalins, le nombre de molécules d'alcalis égale celui des molécules d'alumine. A signaler parmi elles une obsidienne du Toussidé riche en fayalite.

En outre de ces rhyolites alcalines, il existe un petit groupe, petit par le nombre d'échantillons recueillis et par sa répartition géographique, de

rhyolites calco-alcalines, caractérisées chimiquement par la présence de chaux feldspathisable et, minéralogiquement, par la dissimulation de l'orthose (facies dellénitique) et par l'abondance des phénocristaux de plagioclases zonés (20 à 46 pour 100 d'anorthite). Une de ces roches, provenant de l'Yebbi Miski, renferme, en outre, des phénocristaux de hornblende brune et surtout de *bronzite*. C'est le seul exemple de pyroxène rhombique rencontré dans les laves du Tibesti. Ces roches sont très vitreuses et comportent même de véritables obsidiennes. Elles sont toutes plus potassiques que sodiques, avec caractère monzonitique. Les paramètres magmatiques sont représentés par la formule générale : I'-I(II).4.1(2)-2.3-'4.

La coexistence au Tibesti de la forme obsidiennique, entièrement vitreuse à caractères extérieurs identiques, de tous ces types de rhyolites fournit l'occasion de souligner une fois de plus l'intérêt des données physiques des verres volcaniques pour leur spécification, sans qu'il soit nécessaire de recourir aux procédés, longs et dispendieux, de l'analyse chimique. Voici en effet les caractéristiques des trois termes principaux de ces obsidiennes rhyolitiques mesurés par M. P. Gaubert :

	Densité.	N (Na).	
Comendite, Toussidé...........	2,395	1,495	I.4.1.3(4)
Pantellérite, Ganoa............	2,420	1,512	II.3 (4).1.3
R. *calco-alcaline*, Zoumri......	2,52	1,5232	I (II).4 (5).2.3

Si l'on excepte une *phonolite* ægyrinique, à texture ocellée, de la région Bardai-Madigué (Bardagna), toutes les phonolites étudiées proviennent du massif de l'Emi Koussi; telles sont les ponces blanches de la caldeira; elles sont accompagnées de petits fragments d'une phonolite ægyrinique riche en microlites automorphes de néphéline; M. Dalloni l'a trouvée en place près d'Yi Erra. M. de Burthe d'Annelet, qui a traversé récemment cette montagne, a recueilli à Tai Tai (3300^{m}) une phonolite feldspathique pauvre en néphéline et M. Dalloni un autre type (entre Loodé et Daomontou), où la néphéline forme de très petits grains irréguliers, inclus dans les feldspaths comme dans les phonolites du Massif central de la France; cette roche est riche en phénocristaux de hornblende résorbée. Les paramètres de cet ensemble sont de la forme : 1-11.6.1.4:, mais les deuxième et troisième paramètres sont souvent modifiés, par suite de la zéolitisation du feldspathoïde.

C'est encore dans le même massif du Koussi que se rencontrent des *trachytes* à pyroxène, plus sodiques que potassiques, renfermant parfois des phénocristaux d'olivine et d'anorthose à fines macles quadrillées. Leurs

paramètres sont : 1(11).5.(1)(2)-2.'3-(3)(4). Il semble que certains de ces trachytes renfermant un peu d'ægyrine ont subi une certaine altération ; ils sont peut-être apparentés aux phonolites.

Une *latite* (Yi Erra), plus potassique que sodique, à texture eutaxitique, est riche en sphérolites feldspathiques produits par autopneumatolyse, comme dans le piperno de la Pianura. Ses paramètres sont I (II).'5.2.3'.

Enfin une roche à faciès trachytique du flanc Nord du Koussi, riche en olivine et anorthose, a pour paramètres I(II).4(5).(2)3.(3)(4) : le plagioclase y est dissimulé; c'est un type hétéromorphe de *doréite*.

Toutes les roches qui viennent d'être décrites sont des formes d'épanchement et leur mode de mise en place ne prête à aucune discussion. Il n'en est plus de même pour les types suivants.

J'ai décrit antérieurement une *syénite* amphibolique et micacée quartzifère, trouvée par M. Tilho, à l'état de gros blocs, sur les bords de la caldeira du Koussi. J'avais prié M. de Burthe d'Annelet de chercher à déterminer le mode de gisement de cette roche; les renseignements qu'il m'a fournis, avec de nouveaux échantillons, ne laissent guère de doute sur cette question. Il s'agit d'un dyke, ou d'une intrusion dans les tufs ponceux, décapé par les phénomènes explosifs qui ont contribué à former la caldeira.

Il me semble qu'il faut attribuer la même origine à une roche rencontrée par M. Dalloni, dans les mêmes conditions, sur la crête des falaises de la caldeira du Toussidé; c'est le type pétrographique le plus remarquable du Tibesti. Il présente l'aspect du « rhombenporphyr » du sud de la Norvège. Sur un fond à grain fin, très cristallin, se détachent des cristaux d'anorthose de 3^{cm}, limités par les faces $m(1\bar{1}0)$, $t(110)$, $p(001)$, $a^1(\bar{1}01)$, dont les clivages ont la forme en rhombes bien connue; un cristal isolé, à faces nettes, mesurant 6^{cm} de plus grande dimension, a été recueilli sur le flanc Nord de la montagne. Ces cristaux sont accompagnés de phénocristaux d'olivine, d'apatite et de magnétite. Ils sont enveloppés dans une pâte holocristalline formée de gros microlites d'orthose sodique, maclés suivant la loi de Carlsbad et moulés par de petites plages d'augite et d'une amphibole d'un brun violacé. La structure est variable; tantôt ces microlites sont rectangulaires et tantôt aplatis, et de grande dimension, avec tendance à la structure foyaïtique. Un échantillon noir, bulleux, de même composition minéralogique, mais moins riche en phénocristaux feldspathiques, est essentiellement constitué par de longues baguettes d'orthose sodique groupées en éventail et colorées par des inclusions de magnétite, minéral

qui jalonne aussi leurs contours. Les paramètres de ces deux roches sont respectivement : I(II).'5.'2.4 et II.'5.1.4; c'est une *microsyénite* alcaline, passant à un type renfermant une quantité notable d'anorthite virtuelle et se rapprochant d'une microlaurvikite α.

Une autre roche, jouant sans doute le même rôle géologique, a été recueillie par M. Dalloni à Modiounga, sur le flanc oriental du Koussi. Elle présente l'aspect extérieur de la microsyénite, mais les phénocristaux de feldspath sont moins grands et leurs clivages n'ont pas la forme en rhombes; ils sont constitués par une andésine (40 pour 100 d'An), bordée d'orthose; quant aux gros microlites feldspathiques ils sont formés non seulement par du feldspath sodo-potassique, mais par de l'andésine zonée; les microlites d'augite sont accompagnés de baguettes de hornblende; il existe une petite quantité de quartz virtuel, aussi l'olivine est-elle réactionnelle. La formule magmatique est 'II.5.2(3).'4. Cette roche est une *micro-akérite*, elle doit être considérée comme une forme intrusive de la doréite hétéromorphe du Koussi, décrite plus haut, mais où le plagioclase est exprimé.

Enfin il me reste à signaler deux roches dont l'origine peut être discutée, mais non précisée exactement : elles doivent être rapportées également au groupe des doréites; l'une a été ramassée en même temps qne la microsyénite du Toussidé et à son voisinage, elle a même composition et même structure, avec cette réserve toutefois que les phénocristaux d'anorthose n'ont pas de sections rhombiques et qu'il existe un peu de biotite; les microlites d'augite sont accompagnés de microlites aciculaires de hornblende brune. La seconde roche a été recueillie à Loodé; ses phénocristaux consistent uniquement en olivine et en augite violacée; les microlites feldspatiques sont d'andésine (40 à 20 pour 100 d'Ah), cerclée d'orthose; l'augite et la hornblende microlitiques constituent des baguettes. Cette roche a été récoltée au voisinage de trachytes.

Par comparaison avec des types voisins, mais non identiques, du Mont-Dore, il y a lieu de supposer que ces deux roches n'ont pas été épanchées, qu'elles constituent soit des enclaves homœogènes des roches à orthose qui les accompagnent, soit des filons distincts; la seconde présente un caractère lamprophyrique qui n'est guère douteux.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur les hexamétaphosphates.*
Note de M. **Paul Pascal** et Mme **Réchid**.

On sait qu'en chauffant des proportions équimoléculaires de phosphate disodique et d'azotate d'ammonium, on obtient un trimétaphosphate si l'on évite de dépasser 300-350°. L'un de nous ([1]) a montré qu'en menant rapidement l'opération, de façon à tout terminer en une heure, on régularise les réactions et l'on améliore les rendements, grâce à la suppression des sels parasites, soupçonnés par divers auteurs.

On peut opérer au contraire en chauffant avec une lenteur extrême, de façon à n'atteindre 270-280° qu'au bout de 8 heures environ, pour laisser ensuite plusieurs jours la substance à cette température réduite, afin d'en achever la transformation. Il reste alors une masse saline qui, reprise par l'eau et précipitée lentement par addition d'alcool, fournit un sel nettement cristallisé, totalement différent du trimétaphosphate et des autres polymères auxquels donne lieu la pyrogénation des phosphates monométalliques. L'analyse fournit comme chiffres moyens :

	Trouvé.	Calculé pour $6PO^3Na, 10H^2O$.
P^2O^5 pour 100	53,88	53,77
H^2O »	22,81	22,72

Le sel anhydre fond à 852°, température très différente des chiffres observés pour le sel vitreux de Graham (640°) ou les sels insolubles du type Kurrol (810°) que nous avons caractérisés jadis ([2]) et qui sont les deux termes de l'évolution bifurquée des phosphates monométalliques. Par refroidissement, le liquide se prend en une masse porcelanique, non hygroscopique, microcristalline et non vitreuse comme le sel de Graham.

L'individualité de ce nouveau métaphosphate est démontrée par l'ensemble des données physico-chimiques qui suivent. Grâce à elles, nous avons le droit de le désigner par anticipation sous le nom d'hexamétaphosphate cristallin normal, en opposition avec l'hexamétaphosphate vitreux complexe de Graham, qui constitue la moyenne partie des produits commerciaux.

Solutions. — Les solutions de l'hexamétaphosphate de sodium cristallin

---

([1]) Pascal, *Bull. Soc. chim.*, 4e série, 35, 1924, p. 1131.
([2]) Pascal, *Bull. Soc. chim.*, 4e série, 35, 1924, p. 1119.

sont fortement alcalines. A la concentration N/10, on trouve, par comparaison, les valeurs suivantes du pH :

Hexamétaphosphate cristallin	9,2
Trimétaphosphate	7,2
Hexamétaphosphate vitreux	5,2

L'acide correspondant à notre sel est donc relativement faible.

La cryoscopie, pour des concentrations comprises entre 0,333 et 0,666 pour 100, donne les poids moléculaires apparents ($PO^3Na = 102$) :

Hexamétaphosphate cristallin	102
Trimétaphosphate	95
Hexamétaphosphate vitreux	255

La formule $(PO^3)^6Na^6$ étant admise par anticipation, on voit que l'hexamétaphosphate cristallin est dissocié en six ions, sur les sept disponibles en admettant la stabilité de l'anion complexe.

Conductibilité. — L'influence de la dilution sur la conductibilité équivalente est très nette. En voici la valeur, par comparaison avec d'autres polymétaphosphates, en même temps que l'ordre de grandeur des nombres de transport V pour l'anion complexe.

	λ_{1024}.	λ_{32}.	Δ.	V.
Hexamétaphosphate cristallin	145	83	62	88,4
Trimétaphosphate	117	86	31	70,4
Hexamétaphosphate vitreux	54,2	34	20,2	2 (env.)

Nous avons donc obtenu un sel d'espèce nouvelle, caractérisé comme hexamétaphosphate véritable, et que nous écrirons $(PO^3)^6Na^6, 10H^2O$, par opposition à l'hexamétaphosphate vitreux ou sel de Graham $[(PO^3)^6Na^4]Na^2$. L'un de nous avait déjà préparé le sel de potassium correspondant, par une voie moins commode.

Influence de la chaleur. — Alors que les autres polymétaphosphates subissent, sous l'effet de la chaleur, des transformations polymériques réversibles ou irréversibles, l'hexamétaphosphate vrai partage avec le monométaphosphate le privilège de pouvoir être chauffé à toute température sans subir la moindre modification. C'est une nouvelle preuve de son individualité propre.

Le sel anhydre, porté plusieurs heures dans la zone d'existence du trimétaphosphate avant ou après fusion, fondu encore et brusquement trempé au mercure, garde la même conductibilité et présente les mêmes abaissements cryoscopiques. Il est donc remarquablement stable. Comme il ne résulte pas non plus du chauffage du trimétaphosphate, on doit considérer sa formation comme due à la prédominance donnée à une évolution particulière du mélange générateur, grâce à la réalisation d'une température trop basse pour que les mêmes matières fournissent le trimétaphosphate.

Les solutions restent stables plus de trois mois à la température ordinaire, sans aucune modification de leur état ionique; mais, par chauffage, on y voit apparaître peu à peu du phosphate monosodique, sans trace d'intermédiaire pyrophosphorique.

En solution diluée, la réaction

$$(PO^3)^6 Na^6 + 6 H^2O \rightarrow 6 PO^4 H^2 Na$$

est nettement monomoléculaire; la variation du rendement est en effet indépendante de la concentration initiale; tout au plus peut-on dire que la constante de vitesse diminue un peu, au fur et à mesure que le pH baisse par suite de l'hydratation.

Vers 100°, la durée de demi-réaction est 5 heures, contre un peu moins de 40 heures pour le trimétaphosphate et 1 heure 45 minutes pour l'hexamétaphosphate vitreux.

Réactions. — Contrairement à l'hexamétaphosphate vitreux complexe, l'hexamétaphosphate vrai précipite la plupart des ions de métaux lourds, tels que Ba, Mn, Cu en liqueurs diluée; l'ion Zn cependant reste en solution. Avec les sels de plomb, fer, cobalt, cobaltamine, le précipité est soluble à chaud ou dans un excès de sel alcalin et il y a fréquemment production de complexes particulièrement stables. Contrairement enfin à ce que donne l'hexamétaphosphate vitreux, les produits obtenus sont le plus souvent nettement cristallins.

Nous nous proposons d'en faire une étude détaillée, puisque nous disposons maintenant d'un procédé commode pour la préparation des hexamétaphosphates alcalins.

ÉLECTIONS.

M. **Pierre de Vanssay** est élu Correspondant pour la Section de Géographie et Navigation par 26 suffrages contre 14 à M. *F. A. Vening Meinesz* et 1 à M. *Odon de Buen;* il y a 1 bulletin blanc.

PRÉSENTATIONS.

Dans la formation d'une liste de candidats à la *Chaire de Médecine* vacante au Collège de France, pour la première ligne, M. *Charles Nicolle* obtient 39 suffrages contre 5 à M. André Tournade; il y a 2 bulletins nuls. Pour la seconde ligne, M. *André Tournade* obtient 34 suffrages; il y a 1 bulletin blanc et 7 bulletins nuls.

En conséquence la liste présentée à M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts comprendra :

En première ligne.............. M. **Charles Nicolle**.
En seconde ligne.............. M. **André Tournade**.

Dans la formation d'une liste de candidats à la *Chaire de Physique théorique* du Collège de France, pour la première ligne, M. *Léon Brillouin* réunit l'unanimité de 51 suffrages. Pour la seconde ligne, M. *Edmond Bauer* obtient 39 suffrages; il y a 6 bulletins blancs et 1 bulletin nul.

En conséquence, la liste présentée à M. le Ministre de l'Instruction publique et des Beaux-Arts comprendra :

En première ligne................ M. **Léon Brillouin**.
En seconde ligne................ M. **Edmond Bauer**.

CORRESPONDANCE.

M. le **Secrétaire perpétuel** signale, parmi les pièces imprimées de la Correspondance :

Henri Gadeau de Kerville. *Les vieux arbres de la Normandie. Étude botanico-historique.*

L'**Observatoire national de Bucarest**, l'**American Signal Corps Association** adressent à l'Académie l'expression de leurs sentiments de condoléances à l'occasion du décès du Général *G. Ferrié*.

M. **R. Decary** adresse des remercîments pour la distinction que l'Académie a accordée à ses travaux.

ALGÈBRE. — *La structure de la théorie du corps de classes.* Note (¹) de M. **Claude Chevalley**, présentée par M. J. Hadamard.

Il y aurait un grand intérêt à avoir des démonstrations purement arithmétiques de la théorie du corps de classes. Nous nous proposons de montrer que ce but serait atteint si l'on pouvait prouver arithmétiquement qu'une classe très particulière de sur-corps abéliens d'un corps donné k sont des corps de classes, à savoir les corps obtenus par adjonction à k d'une racine de l'unité d'ordre premier. En même temps, nous décomposons et systématisons les faits à démontrer, ce qui montrera peut-être plus clairement les rôles des définitions de Weber et de Takagi dans la théorie.

Nous ne nous occuperons ici que du théorème réciproque, le théorème d'existence en étant une conséquence déductible par voie purement arithmétique (²). Nous décomposerons ce théorème réciproque en deux parties que nous désignerons par théorèmes A et B. Ces théorèmes sont les suivants (K désigne un sur-corps abélien de k) :

Théorème A. — *Il existe dans k un groupe* H *d'idéaux jouissant des propriétés suivantes :*

1° *Les idéaux de* H *sont premiers au discriminant relatif de* K.

2° $\mathfrak{p}$ *désignant un idéal premier de k non ramifié dans* K, $\mathfrak{p}^f$ *la plus petite puissance de* $\mathfrak{p}$ *contenue dans* H, $\mathfrak{p}$ *se décompose dans* K *en idéaux de degré relatif f.*

3° *Si* A *désigne le groupe de tous les idéaux de k premiers au discriminant relatif de* K, A/H *est holoédriquement isomorphe au groupe de Galois de* K *par rapport à k.*

(¹) Séance du 22 février 1932.

(²) Voir par exemple J. Herbrand et C. Chevalley, *Une nouvelle démonstration du théorème d'existence en théorie du corps de classes* (*Comptes rendus*, 193, 1931, p. 814).

Théorème B. — 1° *Le groupe* H *est un groupe de congruence au sens de Weber* [1].

2° *Le groupe* H *est identique au groupe* H^* *défini par Takagi, composé de tous les idéaux de* k *qui sont congrus à la norme relative d'un idéal de* K *suivant un module* $\mathfrak{m}_0$ *divisible par les idéaux ramifiés dans* K, *et par ceux-là seuls.*

Le théorème A et l'assertion 1° du théorème B forment un ensemble équivalent à l'assertion suivante : K est corps de classes au sens de Weber. L'assertion 2° du théorème B montre ensuite que K est corps de classes au sens de Takagi, et détermine le groupe H. L'importance de la définition de Takagi du corps de classes provient du fait que l'assertion 2° semble indispensable pour prouver l'assertion 1°.

Le théorème A peut se démontrer simplement par des voies purement arithmétiques en donnant du groupe H une tout autre définition que celle donnée par le théorème B :

Définition. — Appelons groupe de Artin associé à K dans k le groupe des idéaux $\mathfrak{a}$ de k premiers au discriminant $\mathfrak{d}$ de K par rapport à k et tels que le symbole de Artin $K/\mathfrak{a}$ soit égal à 1 [2].

Le groupe H satisfait aux conditions 1°, 2° du théorème A. De plus, le groupe A/H est évidemment isomorphe à un sous-groupe du groupe de Galois de K par rapport à k. Le théorème A sera donc démontré si l'on peut prouver que pour toute substitution σ du groupe de Galois, il existe un idéal $\mathfrak{a}$ de k tel que

$$\left(\frac{K}{\mathfrak{a}}\right) = \sigma.$$

Or, en composant K avec certains corps circulaires par rapport à k, on peut démontrer qu'il suffit, pour qu'il en soit ainsi, de prouver que la proposition est vraie pour un corps circulaire relativement cyclique de degré égal à un nombre de la forme l^k, l étant un nombre premier. Or dans ce

---

(1) Rappelons qu'on appelle groupe de congruence (mod $\mathfrak{m}$), $\mathfrak{m}$ étant un idéal, un groupe d'idéaux premiers à $\mathfrak{m}$ contenant tous les idéaux principaux (α) représentables par un nombre $\alpha \equiv 1$ (mod $\mathfrak{m}$).

Deux idéaux $\mathfrak{a}$, $\mathfrak{f}$ sont dits congrus (mod $\mathfrak{m}$), si leur quotient est un idéal principal (α) de la catégorie précédente.

(2) Voir, pour la définition de ce symbole, Hasse, *Berichte über neuere Untersuchungen und Probleme aus der Theorie der Algebraischen Zahlkörper*, Leipzig, 1930, 2e partie, p. 22.

cas, on peut prouver arithmétiquement qu'il y a un idéal premier du sous-corps qui reste premier dans le sur-corps, ce qui achève la démonstration.

Le théorème A est donc démontrable d'une manière purement arithmétique.

Quant au théorème B, supposons d'abord que K soit relativement cyclique par rapport à k, *et supposons le théorème* B *démontré pour les corps circulaires*. Dans ce cas on peut démontrer arithmétiquement que le groupe H de Artin est contenu dans $H^\star$. D'autre part on peut démontrer arithmétiquement (généralisation de la démonstration du théorème réciproque de Takagi) que, pour un choix convenable du module de définition $\mathfrak{m}_0$, $H^\star$ est d'indice $\geqq n$ dans le groupe des idéaux premiers à $\mathfrak{m}_0$, n désignant le degré relatif de K. On a donc, en vertu du théorème A, $H = H^\star$, ce qui démontre le théorème B. On en déduit très facilement le théorème B dans le cas général par induction totale.

En même temps que le théorème B, il est clair que nous démontrons *la loi générale de réciprocité* [1] *de M. Artin, c'est-à-dire le fait que le symbole* $(K/\mathfrak{a})$ ne dépend que de la classe à laquelle appartient $\mathfrak{a}$ dans la division en classes des idéaux de k définie par le groupe pour lequel K est corps de classes.

Les démonstrations des faits précédents se font toujours en composant le corps K avec des corps circulaires K′ convenablement choisis, et en choisissant dans le corps composé un sous-corps K_1 tels que :

1° Le corps composé KK′ soit circulaire par rapport à K_1 ;

2° On puisse déduire des propriétés de certains idéaux dans l'extension KK'/K_1 des propriétés correspondantes dans l'extension K/k.

Il s'agit donc d'une généralisation des méthodes employées par M. Artin dans son Mémoire [1], généralisation montrant que non seulement les propriétés de « réciprocité » mais encore celles de « corps de classes » peuvent se transférer d'un corps circulaire à un corps quelconque.

Enfin, signalons que la démonstration du théorème B pour les corps circulaires serait une conséquence immédiate du théorème de la progression arithmétique dans k, ou même du théorème suivant, beaucoup moins fort :

---

(1) Voir Artin, *Beweis des allgemeinen Reziprozitätsgesetzes* [*Abhand. aus dem Math. Seminar der Hamburgischen Universität*, 5, 1927, p. 353, ou encore *loc. cit.*, note (2), p. 767].

Théorème. — *Soit q un nombre premier rationnel. Dans chaque classe d'idéaux de k $(\mathrm{mod}\, q)$ il existe un idéal primaire (c'est-à-dire de la forme $\mathfrak{p}^a$, $\mathfrak{p}$ étant un idéal premier).*

MÉCANIQUE CÉLESTE. — *Sur la nature des chocs dans le problème des trois corps à trois degrés de liberté.* Note (¹) de M. D. Belorizky, présentée par M. Ernest Esclangon.

On a traité jusqu'ici la question du choc soit dans le cas général du problème des trois corps, soit dans le problème restreint (deux degrés de liberté). Nous étudierons ici le cas où deux des corps décrivent des orbites circulaires; le troisième, dont la masse est négligeable, et dont le mouvement n'est pas nécessairement plan, va se choquer avec l'un des deux corps précédents. Ce cas présente un intérêt particulier, car c'est celui des météorites et des comètes qui peuvent tomber sur la Terre ou sur d'autres planètes, étant donné qu'on peut toujours considérer, au voisinage du choc, le mouvement de la planète comme circulaire.

Pour résoudre ce problème, nous appliquerons la transformation canonique de contact, indiquée par M. Levi-Civita, car, dans ce cas, les équations du mouvement peuvent être présentées sous la forme canonique de Poincaré.

Soient m_0 et m les masses des deux corps P_0 et P. Choisissons les unités de façon que la constante de gravitation f, la somme des masses $m_0 + m$, la distance a de P_0 et P soient toutes égales à l'unité; alors la vitesse angulaire n sera aussi égale à 1. Choisissons des axes animés d'un mouvement de rotation uniforme de vitesse angulaire $n = 1$. Soit P le corps sur lequel va tomber la météorite M. Transportons l'origine des axes des coordonnées au point P, l'axe des x ayant la direction opposée à celle du corps P_0, l'axe des y étant dans le plan de l'orbite du corps P. Alors les équations du mouvement du météorite M sont :

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial F}{\partial p_x},$$
$$\frac{dp_x}{dt} = -\frac{\partial F}{\partial x},$$
$$\dots\dots\dots\dots,$$

(¹) Séance du 22 février 1932.

x, y, z étant les coordonnées de M; p_x, p_y, p_z les composantes de sa vitesse absolue et

$$F = \frac{1}{2}(p_x^2 + p_y^2 + p_z^2) - (xp_y - yp_x) - m_0 p_y - \left(\frac{m}{r} + \frac{m_0}{r_0}\right),$$

r étant la distance MP et r_0 la distance MP_0.

On a évidemment l'intégrale $F = C$, C étant une constante. En effectuant la transformation bien connue

$$\frac{dt}{r} = du \qquad \text{et} \qquad x_i = \overline{\omega}^2 \xi_i - 2\overline{\omega}_i \Sigma \overline{\omega}_i \xi_i; \qquad p_i = \overline{\omega}_i / \overline{\omega}^2$$

(en supposant $x_1 = x$, $x_2 = y$, $x_3 = z$, $p_1 = p_x$, $\ldots$, $\overline{\omega}^2 = \Sigma \overline{\omega}_i^2$, $\xi^2 = \Sigma \xi_i^2$) qui supprime complètement dans les équations du mouvement la singularité due au voisinage du choc [1], on a un nouveau système canonique :

$$\frac{d\overline{\omega}_i}{du} = -\frac{\partial F'}{\partial \xi_i}, \qquad \frac{d\xi_i}{du} = \frac{\partial F'}{d\overline{\omega}_i} \qquad (i = 1, 2, 3),$$

où $F' = r(F - C)$ et pour chaque solution de ce système des équations différentielles $F' = 0$. En développant F' on trouve

$$F' = -m + \frac{1}{2}\xi - m_0 \xi \overline{\omega}_2 - \xi \overline{\omega}^2 \left[(\xi_1 \overline{\omega}_2 - \xi_2 \overline{\omega}_1) + \frac{m_0}{r_0} + C\right]$$

avec

$$r_0 = \sqrt{1 + \overline{\omega}^4 \xi^2 + 2(\overline{\omega}^2 \xi_1 - 2\overline{\omega}_1 \Sigma \overline{\omega}_i \xi_i)}.$$

En développant $\overline{\omega}_i$ suivant les puissances de ξ_i et suivant celles de u comme le fait M. Kiveliovitch [2], on trouve :

$$\overline{\omega}_1 = -\frac{1}{2}\frac{\xi_1}{\xi}u + \frac{a\xi_1}{\xi}u^3 + \left[b\frac{\xi_1}{\xi} + b_1\left(\frac{\xi_1^2}{\xi} + \xi\right)\right]u^5 + \ldots,$$

$$\overline{\omega}_2 = -\frac{1}{2}\frac{\xi_2}{\xi}u - \frac{m_0}{4}u^2 + \frac{a\xi_2}{\xi}u^3 + cu^4 + \left(b - \frac{m_0}{80}\xi_1\right)\frac{\xi_2}{\xi}u^5 + \ldots,$$

$$\overline{\omega}_3 = -\frac{1}{2}\frac{\xi_3}{\xi}u + \frac{a\xi_3}{\xi}u^3 + \left(b - \frac{m_0}{80}\xi_1\right)\frac{\xi_3}{\xi}u^5 + \ldots.$$

a, b, c étant des constantes qui dépendent de m_0 et C.

Il en résulte que $\overline{\omega}_3 \xi_1 - \overline{\omega}_1 \xi_3 = zp_x - xp_x = Au^5 + Bu^6$, c'est-à-dire que

---

(1) Levi-Civita, *Sur la régularisation du problème des trois corps* (*Acta mathematica*, 42, 1920, p. 133-136).

(2) *Comptes rendus*, 182, 1926, p. 116-118.

le moment de la vitesse absolue du corps M par rapport à l'axe des y est infiniment petit du cinquième ordre en u, tandis que ses moments par rapport à l'axe des x et à celui des z sont du second ordre. *Si l'on peut négliger les puissances cinquièmes de* u, on trouve *que la vitesse absolue du petit corps et la vitesse du corps* P *se trouvent, en voisinage du choc, dans le même plan.*

Dans le problème général des trois corps, tous les moments sont infiniment petits de second ordre.

Si l'on développe les coordonnées x, y, z du petit corps en voisinage du choc, suivant les puissances de u, on trouve après des réductions assez laborieuses :

$$x = -\frac{1}{4}\xi_1^0 u^2 + \alpha\xi_1^0 u^4 + \beta u^5 + \ldots.$$

$$y = -\frac{1}{4}\xi_2^0 u^2 + \frac{1}{2} m m_0 u^3 + \alpha_1 \xi_2^0 u^4 + \beta_1 u^5 + \ldots.$$

$$z = -\frac{1}{4}\xi_3^0 u^2 + \alpha\xi_3^0 u^4 + \gamma u^6 + \ldots,$$

ξ_1^0, ξ_2^0, ξ_3^0 sont les valeurs de ξ_1, ξ_2, ξ_3 pour $u = 0$ et

$$(\xi_1^0)^2 + (\xi_2^0)^2 + (\xi_3^0)^2 = (\xi^0)^2 = 4m^2,$$

en vertu de l'équation $F' = 0$; α, β, γ sont des constantes qui dépendent de m_0, m, C et ξ_i^0.

Dans le cas du choc proprement dit, il faut prendre $u < 0$ et, dans le cas tout opposé d'une éjection (comme s'il s'agissait d'un volcan) $u > 0$.

On trouve aisément $\xi^0 x - \xi_1^0 z = \beta u^5 + \ldots.$

Si l'on peut négliger les puissances supérieures à u^4, *le mouvement s'effectue dans un plan* dont l'équation est celle ci-dessus (avec $\beta = 0$), Dans ce plan l'orbite est une courbe de sixième degré. Si l'on néglige les puissances supérieures à u^3, on a une courbe de troisième degré et, enfin, en négligeant les puissances supérieures à u^2, on a une droite tangente à la trajectoire du météorite au moment du choc ou au moment de l'éjection. Dans le cas général du problème des trois corps, la courbe est toujours gauche, sauf si l'on néglige les puissances supérieures à la deuxième, hypothèse dans laquelle la trajectoire se confond avec la tangente comme dans notre cas.

ASTRONOMIE. — *Sur la détermination de l'orbite d'après deux lieux héliocentriques.* Note (1) de M. **Thadée Banachiewicz**, présentée par M. Ernest Esclangon.

Dans la partie directe du problème des orbites (détermination des positions d'après les éléments), les anomalies vraies ne sont que des quantités auxiliaires du calcul logarithmique, superflues dans le calcul arithmométrique. D'autre part, dans le problème inverse, les anomalies vraies continuent à figurer sans changement. Alors se pose la question suivante : comment doit-on fixer la direction du périhélie sans une détermination préalable des positions de l'astre par rapport au périhélie? Ce problème peut être résolu en envisageant l'orientation, par rapport à la directrice, de la corde joignant les deux lieux de l'astre. On arrive par cette voie à des résultats d'une grande simplicité.

En mettant à part le cas particulier et très simple de la parabole, supposons connu, en dehors des deux lieux héliocentriques aux instants donnés, le rapport η secteur : triangle, qu'on a rencontré dans la détermination des distances géocentriques. Nous nous bornerons à donner explicitement les formules relatives au mouvement elliptique; pour l'hyperbole on n'a qu'à changer, dans la formule (1), le signe du second membre, et à prendre partout, au lieu des fonctions *trigonométriques* de $1/2\,g$, g, G et H, les fonctions *hyperboliques* correspondantes des mêmes arguments.

On commencera par calculer $\sin^2 g$ d'après $\sin^2 1/2g$, et l'on déterminera le demi-grand axe a par la formule

$$(1) \qquad a = r\,\frac{2\cos\gamma}{\eta^2}\,\frac{m}{\sin^2 g}.$$

Pour des instants infiniment rapprochés, on aurait $\eta = \cos\gamma = 1$, $\sin^2 g : m = 4 - 2r\mathrm{V}^2 : k^2$.

Quelques astronomes recommandent ici la résolution de l'équation de Lambert; nous sommes d'un avis différent. Une fois résolu le problème si difficile de η, il semble inutile de le reprendre sous une autre forme. Il est vrai que, pour appliquer la formule (1), on doit calculer exactement $\sin^2 1/2g$, quantité petite du second ordre; cela se fait facilement, pourvu

(1) Séance du 15 février 1932.

qu'on emploie des formules appropriées, notamment celles que nous avons indiquées récemment. Une telle concentration, en un seul point bien défini, d'une certaine difficulté numérique inhérente au problème, dispersée en deux endroits différents dans les formules employées ordinairement, nous semble d'ailleurs avantageuse.

Après la détermination de a, on résoudra, par rapport à e et ϖ, les équations ($\cos\beta \geqq 0$) :

$$(2) \qquad e\sin\varpi = \sin\beta, \qquad e\cos\varpi = \cos\beta\cos H$$

où l'on a posé ($\sin H \geqq 0$)

$$\cos H = \left(1 - \frac{r}{a}\right)\sec g;$$

$\sin\varpi$ et $\cos\varpi$ donneront les éléments caractérisant la position de l'orbite [voir une Note antérieure ([1])]. On trouvera encore

$$(3) \qquad \sin G = \sin\varpi\sin H, \qquad \cos G = \cos\varpi\sec\beta$$

et l'anomalie moyenne $M = G - e\cos g\sin G$, pour l'époque $t = (t_1 + t_3)/2$. Nous laissons de côté les formules de vérification.

Signalons que les formules (2) et (3) sont valables aussi, avec $\sec g = 1$, dans le cas des observations infiniment rapprochées, c'est-à-dire quand on suppose données les coordonnées et les composantes de la vitesse pour le même instant. Ainsi la solution établie s'applique non seulement à la partie finale de la méthode de Gauss, relative à la détermination des orbites, mais en même temps encore à la partie finale de la méthode de Laplace. Jusqu'ici, on résolvait séparément les deux problèmes correspondants, dont l'un est le cas particulier de l'autre, à l'aide de formules distinctes et plus compliquées, soit dans l'une, soit dans l'autre méthode.

PHYSIQUE THÉORIQUE. — *Sur l'excitation multiple d'atomes complexes par chocs d'électrons.* Note de M. **L. Goldstein**, présentée par M. M. de Broglie.

On sait qu'un certain nombre de spectres de raies ne peuvent être expliquées qu'en admettant à l'état initial l'existence de plus d'un électron excité. (Termes déplacés des alcalino-terreux et termes analogues d'ions

([1]) *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 527.

lourds.) Des expériences de chocs d'électrons ont démontré directement l'excitation simultanée de deux électrons ([1]). L'objet de la présente Note est de montrer comment on peut rendre compte en Mécanique quantique de ces excitations multiples par bombardement électronique.

Si l'on tient compte de l'interaction électrostatique des électrons la fonction d'onde de première approximation d'un atome à N électrons est, à l'état fondamental, donné par

$$(1)\qquad \Psi^{\mathrm{I}}_0(x_1, \ldots, x_N) = \Psi^0_0(x_1, \ldots, x_N) + \varepsilon \Sigma_j c^0_j \Psi^0_j,$$

où Ψ^0 désigne une fonction d'onde de zéro approximation et qui a la forme, à l'état k, d'énergie E_k (somme des énergies individuelles des électrons),

$$(2)\qquad \Psi^0_k = \Sigma(-1)^\tau P_\tau \psi_1(x_1)\psi_2(x_2)\ldots\psi_{\lambda_k}(x_L)\ldots\psi_{\nu_0}(x_N),$$

où la λ^e fonction d'onde se trouve dans le k^e état excité. Pour être plus précis on devrait écrire $\Psi^0_{\lambda_k}$ pour cette fonction d'onde, de même $\Psi^0_{\lambda k, \mu l}$ pour celles qui contiennent deux fonctions d'ondes excitées et ainsi de suite. On se contentera ici de l'abréviation (1). P_τ est la τ^e permutation des N électrons sur les $\nu = N$ fonctions d'onde individuelles. Les coefficients c_j ou ceux de l'état fondamental c^0_j sont donnés par

$$(3)\qquad c^0_j = \sum_{\tau, \rho, MN} (-1)^{\tau+\rho} P_\tau P_\rho \frac{\int \overline{\Psi^0_j} \frac{e^2}{r_{MN}} \Psi^0_0 \, d\tau}{E_j - E_0}.$$

Ils sont différents de zéro lorsque $\tau = \rho$ et si deux, au plus, des fonctions d'onde individuelles diffèrent dans Ψ^0 de celles de Ψ^0_0, ce sont celles des électrons M et N. A l'état final, où l'on supposera deux électrons excités, la fonction d'onde de première approximation sera

$$(1')\qquad \Psi^{\mathrm{I}}_{k,l}(x) = \Psi^0_k(x) + \varepsilon \Sigma' c^l_l \Psi^0_l.$$

On sait que la probabilité (élémentaire) d'un choc électronique faisant passer le système dans cet état est, dans la théorie de Born-Dirac que l'on applique ici, proportionnelle à $(f P'' V i P')^2$, le carré du module de l'élément de matrice de perturbation de l'électron incident, pris sous forme d'une onde plane de de Broglie, ayant les quantités de mouvement P′ et P″ (en unités $h/2\pi$) avant et après le processus. Ces éléments de matrice sont

---

([1]) A. E. Ruark, *J. Opt. Soc. Am.*, **11**, 1925, p. 109.

donnés, laissant de côté l'échange de l'électron incident et des électrons atomiques, par

$$(4)\quad (f\mathrm{P}''|\mathrm{V}|i\mathrm{P}') = \int \overline{\Psi^{\mathrm{I}}_{k}(x)}\, e^{-i\vec{\mathrm{P}}''\vec{\mathrm{R}}}\, \mathrm{V}\, \Psi^{\mathrm{I}}_{0}(x)\, e^{i\vec{\mathrm{P}}'\vec{\mathrm{R}}}\, d\tau_{\mathrm{R}}\, d\tau = e^2 \sum_{\mathrm{G}} \int e^{i\vec{\mathrm{P}}\vec{\mathrm{R}}} \frac{\overline{\Psi^{\mathrm{I}}_{k}}\Psi^{\mathrm{I}}_{0}}{|\vec{\mathrm{R}} - \vec{r}_{\mathrm{G}}|}\, d\tau_{\mathrm{R}}\, d\tau.$$

$\vec{\mathrm{R}}$ est le rayon vecteur de l'électron incident et $\vec{r}_{\mathrm{G}}$ celui du G^{e} électron atomique, $\vec{\mathrm{P}} = \vec{\mathrm{P}}' - \vec{\mathrm{P}}''$. A cause de l'orthogonalité des fonctions d'ondes individuelles, il est clair que seules les intégrales relatives aux électrons excités seront différentes de zéro et qu'il faut examiner de près.

Le produit $\overline{\Psi^{\mathrm{I}}_{k}}\Psi^{\mathrm{I}}_{0}$ est de la forme suivante au premier ordre :

$$\overline{\Psi^{\mathrm{I}}_{k}}\Psi^{\mathrm{I}}_{0} \sim \overline{\Psi^{0}_{k}}\Psi^{0}_{0} + \varepsilon\Sigma' c^{0}_{l}\overline{\Psi^{0}_{k(f)}}\Psi^{0}_{l} + \varepsilon\Sigma' \overline{c^{k}_{j}}\,\overline{\Psi^{0}_{j,k}}\Psi^{0}_{0}.$$

On voit alors que le terme d'ordre zéro ne contribue en rien à la formation de l'élément de matrice cherché. Donc la probabilité d'excitation simultanée de plusieurs électrons est d'ordre inférieur à celle d'un seul électron, comme on devait s'y attendre. Les termes du premier ordre (en ε) sont explicitement

$$(5)\quad \sum_{e}{}' c^{0}_{e}\overline{\Psi^{0}_{k(f)}}\Psi^{0}_{l,0} = \sum{}' c^{0}_{l} \sum_{\alpha\beta}{}' (-1)^{\alpha+\beta}\mathrm{P}_{\alpha}\mathrm{P}_{\beta}[\overline{\psi_{10}}(x_1)\ldots\overline{\psi_{\lambda k}}(x_{\mathrm{F}})\overline{\psi_{\mu m}}(x_{\mathrm{G}})\ldots\overline{\psi_{\nu 0}}(x_{\mathrm{N}})]$$
$$\times[\psi_{10}(x_1)\ldots\psi_{\chi l}(x_{\mathrm{D}})\ldots\psi_{\nu 0}(x_{\mathrm{N}})].$$

Dans le terme écrit de la série précédente on a supposé que les $\lambda^{\text{ième}}$ et $\mu^{\text{ième}}$ fonctions d'onde sont excitées dans $\Psi^{0}_{k(f)}$ pour fixer l'état final en question de l'atome. La permutation est celle qui attribue dans $\Psi^{0}_{k(f)}$ x_{F} à ψ_{λ} et x_{G} à ψ_{μ}. Dans $\Psi^{0}_{l,0}$ on suppose que c'est la $\chi^{\text{ième}}$ fonction d'onde qui est excitée dans l'état f donnant l'état l de l'atome avec la permutation qui lui affecte les coordonnées x_{D}.

Remplaçant ces produits dans (4) on obtient

$$(6)\quad (f\mathrm{P}''|\mathrm{V}|i\mathrm{P}') = e^2 \sum_{\tau,l}{}' (-1)^{\tau}\mathrm{P}_{\tau}c^{0}_{l}\int e^{i\vec{\mathrm{P}}\vec{\mathrm{R}}} \frac{\overline{\psi_{\lambda k}(x_{\mathrm{F}})}\,\overline{\psi_{\mu k}(x_{\mathrm{G}})}\,\psi_{\lambda l}(x_{\mathrm{F}})\psi_{\mu k}(x_{\mathrm{G}})}{|\vec{\mathrm{R}} - \vec{r}_{\mathrm{F}}|}\, d\tau_{\mathrm{R}}\, d\tau$$
$$+ e^2 \sum_{\rho,j}{}' (-1)^{\rho}\mathrm{P}_{\rho}\overline{c^{k}_{j}} \int e^{i\vec{\mathrm{P}}\vec{\mathrm{R}}} \frac{\overline{\psi_{\varepsilon j}(x_{\mathrm{F}})}\,\overline{\psi_{\zeta 0}(x_{\mathrm{G}})}\,\psi_{\varepsilon 0}(x_{\mathrm{F}})\psi_{\zeta 0}(x_{\mathrm{G}})}{|\vec{\mathrm{R}} - \vec{r}_{\mathrm{F}}|}\, d\tau_{\mathrm{R}}\, d\tau + \text{termes en } \frac{1}{|\vec{\mathrm{R}} - \vec{r}_{\mathrm{G}}|}.$$

Ceci s'écrit encore, les fonctions d'onde étant normalisées à l'unité,

$$(7)\quad \int e^{i\vec{\mathrm{P}}\vec{\mathrm{R}}} \frac{\overline{\psi_{\lambda k}(x_{\mathrm{F}})}\,\psi_{\lambda l}(x_{\mathrm{F}})}{|\vec{\mathrm{R}} - \vec{r}_{\mathrm{F}}|}\, d\tau_{\mathrm{R}}\, d\tau_{\mathrm{F}} = (k\mathrm{P}''|\mathrm{V}|l\mathrm{P}'),$$

qui n'est autre que l'élément de matrice de perturbation relatif à l'unique électron F pour la transition $l \rightarrow k$, donc vers l'état avec lequel il figure dans l'état final de l'atome. Par conséquent, l'élément de matrice de perturbation relatif au processus complet de l'excitation simultanée de deux électrons, entre les deux états envisagés, sera au premier ordre

$$(8)\quad (f\mathrm{P}''|\mathrm{V}|i\mathrm{P}') = \varepsilon . e^2 \Big[\sum_{\tau, l}{}' (-1)^{\tau} \mathrm{P}_{\tau} c_l^{g} (k\mathrm{P}''|\mathrm{V}|l\mathrm{P}') + \sum_{\rho, j} (-1)^{\rho} \mathrm{P}_{\rho} \overline{c_j^{k}} (j\mathrm{P}''|\mathrm{V}|o\mathrm{P}')$$

$$+ \text{termes analogues pour l'électron G} \Big]$$

qui n'est autre chose qu'un ensemble de séries d'éléments de matrices de perturbation *individuels* correspondant à des transitions d'un seul électron : *a*. depuis tous ses états excités vers l'état final particulier qui figure dans l'état final de l'atome, résultat du processus complet; *b*. depuis l'état initial vers tous les états excités et ceci pour chacun des deux électrons excités.

La probabilité élémentaire cherchée est proportionnelle à $|(f\mathrm{P}''|\mathrm{V}|i\mathrm{P}')|^2$ et l'on voit qu'elle est, rapportée à la probabilité de l'excitation d'un seul électron, tout au plus de l'ordre de $|c_k|^2$ (au cas de $\varepsilon = 1$), donc beaucoup plus petite que celle-ci, vu que les coefficients de développement c sont, en général, $\ll 1$. Les séries en (8) sont majorées par les séries de fonctions d'ondes non perturbées, elles convergent plus vite que celles-ci. On voit sur (8) que le processus est d'autant plus probable que : 1° les états individuels des électrons sur lesquels il s'appuie sont plus rapprochés (perturbation mutuelle des niveaux grande, dont les c sont aussi grands), et 2° les probabilités de transitions individuelles entre ces états sont grandes. L'échange entre l'électron incident et les électrons atomiques compléterait quantitativement la valeur de la probabilité du processus. En outre, il est aisé de voir que les perturbations autres qu'électrostatiques (spin-orbite, spin-spin) des électrons ne contribuent qu'avec des termes d'ordre supérieurs à ceux calculés et, par conséquent, elles ne changent pas les résultats qualifitatifs obtenus. L'excitation simultanée par choc d'électron de plus de *deux* électrons se traite de la même façon mais elle ne présente pas d'intérêt pratique, on n'en a pas observé, à nos connaissances, expérimentalement.

MÉTROLOGIE. — *Dispositif électrodynamique pour la mesure des petites inductances mutuelles. Application à l'examen des micromètres.* Note de M. **A. Guillet**, présentée par M. A. Cotton.

Nous avons déjà comparé de diverses manières de petites inductances mutuelles, mais comme, en Métrologie, cette opération doit être répétée fréquemment, nous nous sommes proposé de la rendre aussi simple et aussi expéditive que possible, non seulement en utilisant comme courant inducteur le courant alternatif, mais encore en évitant l'emploi d'organes auxiliaires tels que détecteurs à contact ou à triode, trieurs et redresseurs mécaniques. Il est alors nécessaire de disposer d'un récepteur dans lequel le couple appliqué à l'équipage mobile conserve un sens constant quelle que soit l'alternance active. On est ainsi conduit à un montage de nature électrodynamique comportant soit deux, soit trois circuits.

Le récepteur construit en vue de satisfaire à ces conditions se compose d'une bobine creuse B de rayon intérieur R, couverte de douze couches d'un fil de diamètre d (1^{mm} environ), réparties en trois circuits que l'on peut utiliser séparément, ou diversement groupés. Dans le plan de la section centrale et suivant un même diamètre que l'on rend vertical, on a ménagé à travers l'enroulement deux petites ouvertures cylindriques dont on verra plus loin le rôle. L'équipage mobile g disposé dans la région centrale de la bobine B est constitué par une ou plusieurs galettes planes, d'épaisseur égale au diamètre d' du fil qui sert à leur enroulement. Les spires de chaque galette sont jointives et leur rayon croît progressivement de R_0 à R. Le disque formé par les galettes associées est monté dans un cadre long et étroit continué par deux petites tiges rigides a et b qui s'engagent respectivement dans les ouvertures mentionnées plus haut. A la tige a est fixé le fil de torsion qui soutient l'équipage et à b le fil d'amener du courant ainsi que les bras qui portent les deux pistons d'un amortisseur à air. Ces pistons, ainsi que les corps de pompe fixes dans lesquels ils se meuvent, sont des portions de deux tores dont les axes coïncident avec le fil de suspension.

A l'instant où la bobine et l'équipage sont respectivement excités par des courants I et i, le moment des actions *elmg* appliquées à chaque galette est évidemment :

$$M_g = \frac{4}{3}\pi^2 n_1 (1-\varepsilon) n'_1 (R^3 - R_0^3)\, I.i = A.I.i.$$

avec $n'd' = 1$ et $nd = 1$. Le moment d'inertie I_g a d'autre part pour valeur

$$I_g = \frac{\pi^2}{16}\rho d (R^4 - R_0^4)$$

et pour une masse de fil $m' \leqq \pi^2/4\rho d' R^2$, ρ masse spécifique du cuivre.

Il est à remarquer que dans le cas de l'équipage à enroulement cylindrique et dans les conditions les plus avantageuses, on aurait

$$M_b = \frac{4\sqrt{3}}{3} M_g, \qquad I_b = \frac{64\sqrt{3}}{27} I_g, \qquad m = \frac{4\sqrt{2}}{3} m_g.$$

A égalité de moment d'inertie on a donc un moment d'orientation plus grand dans le cas de l'enroulement en galette.

Dans le montage à deux circuits la bobine B est en série avec le circuit inducteur et l'équipage en série avec le circuit induit, on a alors

$$M_g = A I_0 i_0 \cos\varphi,$$

I_0 et i_0 étant les amplitudes, faciles à calculer, des courants inducteur et induit et φ la différence de phase de ces courants qui dépend seulement de la fréquence du courant alternatif employé, de l'inductance propre et de la résistance du circuit induit.

Dans le montage à trois circuits, la tension alternative est directement appliquée à la bobine B d'une part et à l'inducteur d'autre part.

Pour épreuve, appliquons cette technique à l'examen d'un micromètre quelconque monté au préalable sur un support à la cardan et à couteaux que l'on peut suspendre au fléau de la balance déjà décrite [1] et déplacer le long de ce fléau. Lorsqu'on fait tourner le fléau, les divisions, orientées horizontalement, se meuvent dans un plan vertical sur lequel un microscope muni d'un réticule horizontal est au point. A l'aide de la vis qui commande la rotation du fléau, on amène successivement les divisions du micromètre en coïncidence avec le réticule qui est fixe, et si l'opérateur tient à ne pas se déranger, il lit à chaque coïncidence les déviations correspondantes de l'équipage g par la méthode de Gauss.

Exemple. — Étude d'un micromètre divisé en dixièmes de millimètre sur une longueur de 1^{m}, suspendu à l'extrémité du fléau (sensibilité la plus réduite). Emploi du secteur d'éclairage avec $E = 108$ volts, $I = 0,6$ ampère. Opérant à divers moments, toujours et pour les deux sens de par-

---

[1] *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 67.

cours, la course totale du spot sur la règle est restée comprise entre 699 et $698^{mm},5$; les erreurs de pointés des divisions du micromètre pour une bonne mise au point se sont rarement traduites par un déplacement de 2^{mm} du spot. Cette manipulation comportant 21 pointés dure environ 5 minutes. S'il est utile de rendre la lecture trois fois plus grande par exemple, sans modification des facteurs électriques, la suspension du micromètre est amenée 3 fois plus près de l'axe du fléau. Avec le montage à trois circuits, les autres conditions étant les mêmes, la sensibilité est environ six fois plus grande qu'avec le montage à deux circuits. Constatations analogues dans l'examen d'un micromètre divisé en centièmes de millimètre.

Il serait préférable d'utiliser un alternateur indépendant afin d'éviter les effets des variations de fréquence et surtout de tension, survenant par à-coups, que subit assez souvent le courant alternatif distribué par le secteur d'éclairage.

MAGNÉTISME. — *Vérifications de la loi de répartition discontinue des points de Curie.* Note de M. R. **Forrer**, transmise par M. Pierre Weiss.

J'ai proposé [1] une loi thermique discontinue des points de Curie :

$$\Theta = T_1\sqrt{N},$$

où N est le nombre de contacts des *n* orbites électroniques extérieures d'un atome ferromagnétique avec celles des voisins et T_1 le point de Curie correspondant à $N=1$. Du point de Curie du fer ($\Theta = 796°$ C.) avec $N=12$ résulte $T_1 = 301$.

On peut chercher des vérifications dans la possibilité de réaliser les nombres de contacts ainsi calculés au moyen des propriétés des réseaux. Prenons comme premier exemple la pyrrhotine FeS et MnSb. Leurs Θ sont situés à 320 et 325°C. On calcule pour ces substances, avec $T_1 = 301$, $N=3,88$ et $N=3,95$. J'attribue donc à ces deux substances quatre contacts. Leur réseau est hexagonal du type de NiAs. Les atomes de fer ou de manganèse sont situés dans des chaînes linéaires parallèles à l'axe sénaire avec la distance de 2,89 Å dans les deux cas. Une orbite placée de façon que son plan contienne l'axe sénaire du cristal ne donne que deux contacts avec

(1) *Comptes rendus*, **194**, 1932, p. 697.

les deux voisins, deux orbites en donneront $N = 4$. La structure cristalline est donc aisément compatible avec le nombre calculé 4. Elle donne en outre le nombre des orbites participantes ($n = 2$) et le nombre de contacts de chaque orbite ($p = 2$). Le multiplet magnétique supposé parallèle au multiplet d'orientation sera donc un doublet dont la résultante est dans le plan $\perp$ à l'axe senaire. Ce plan est effectivement celui de facile aimantation de la pyrrothine (¹).

Dans Fe_4N les atomes de fer forment un cube à faces centrées avec un atome de N au centre d'une maille. En laissant à un atome de fer qui est entièrement entouré de fer son triplet habituel avec $N = 12$ et en supprimant les deux orbites des trois autres atomes de fer qui contiendraient dans leurs plans l'atome de N, on trouve comme nombre moyen de contacts pour le fer $(12 + 3 \times 4)/4 = 6$. Le calcul à partir de (4[illegible]0° C.) donne $^{30}N = 6,26$. On peut en conclure que le voisinage d'un atome d'azote modifie profondément l'étage extérieur du fer ($n = 1$ au lieu de $n = 3$).

On peut attribuer une structure identique au réseau électronique d'orientation de $MnNi_3$ avec $\Theta = 470°$ C., donc $^{30}N = 6,10$.

Des nombres fractionnaires pour N sont possibles dans le cas où les atomes de fer ne sont pas équivalents. Dans la cémentite (Fe_3C) par exemple 2 atomes de Fe ont la même distance d'un atome commun de Fe. En leur attribuant des orbites doubles comme dans la pyrrhotine, l'atome commun aura 4 contacts, les deux autres chacun 2 contacts, on aura donc, en moyenne $(4 + 2 + 2)/3 = 8/3$ contacts par atome, conformément à l'expérience ($\Theta = 220°$ C., $^{30}N = 2,68$).

J'admets qu'à la température Θ l'agitation thermique a rompu l'ensemble de contacts efficaces. Cette rupture suggère un mécanisme pour la variation thermique de l'aimantation spontanée. On peut distinguer à une température donnée entre des atomes ferromagnétiques, c'est-à-dire dont le moment est orienté en vertu des contacts efficaces, et des atomes paramagnétiques, dont le moment est libre, parce que tous leurs contacts sont rompus. La probabilité pour qu'un certain nombre d'atomes ne possèdent plus aucun contact déterminera la fraction paramagnétique de la substance.

Une autre catégorie de vérifications est possible pour les corps avec différents points de Curie paramagnétiques Θ_p. Celui du fer γ ($\Theta_p = 1280°$ C.) donnerait avec un point de Curie ferromagnétique associé, situé à 1201° C. ($^{30}N = 24$) une différence de la grandeur habituelle (15° à 40°).

(¹) Pierre Weiss, *J. de Phys.*, 1, 1911, p. 971.

Le rapport simple $24/12 = 2/1$ des nombres de contacts du fer δ et α peut être considéré comme une intéressante confirmation de la loi proposée.

J'ai remarqué que les points de Curie (Θ_l) des alliages ferromagnétiques à la limite de la solution solide se trouvent le plus souvent aussi au voisinage immédiat d'une température correspondant à un nombre entier de contacts. Je cite comme exemples : Fe-Si, $\Theta_l = 450°$C.; $N = 6$ pour $T_1 = 295$. Co-Al, $\Theta_l = 780°$; $N = 12$ pour $T_1 = 304$. Ni-Al, $\Theta_l = 32°$; $N = 1$ pour $T_1 = 305$. Cette remarque donne à la *limite de la solution solide une signification physique*. La solution solide est possible jusqu'à ce que les contacts efficaces soient réduits à une fraction simple du nombre de ceux du point de Curie du métal pur (un demi dans l'exemple du Fe-Si (12/6) et du Co-Al (24/12), un quart dans celui du Ni-Al (4/1).

Comme exemple d'une autre catégorie je cite le cas Fe^2O^3, MgO ($\Theta = 327°$, $N = 4$ avec $T_1 = 300$). Quand cette substance dissout Fe^2O^3 en solution solide, Θ augmente et l'on a, à la limite, $\Theta_l = 400°$, ${}^{301}N = 5{,}0$. Fe^2O^3 pur a un *nombre double* de contacts ($\Theta = 675°$, $N = 10$ pour $T_1 = 300$).

Les températures T_a des anomalies du genre de celle qu'on trouve dans le laiton β à 470°C. ($N = 6$ pour $T_1 = 303$) sont attribuables elles aussi à la rupture d'un certain nombre de contacts efficaces. T_a est donc le point de Curie d'une substance possédant l'orientation, mais dépourvue de moment magnétique.

En ce qui concerne le mécanisme des contacts efficaces, il n'y a pas de doute qu'il faut le chercher dans l'interaction des électrons proposée par Heitler et London et par Heisenberg. Mais la loi empirique donnée ici diffère nettement de celle qui dérive de la formule de Heisenberg. D'après celle-ci les points de Curie eux-mêmes seraient proportionnels aux nombres de voisins. J'ai déduit des faits expérimentaux que les carrés des points de Curie sont proportionnels aux nombres entiers de contacts.

SPECTROSCOPIE. — *Sur le premier spectre d'étincelle du mercure.* Note de M. R. Ricard, présentée par M. Ch. Fabry.

Mac Lennan, Mac Lay et M. F. Crawford [1] ont évalué à nouveau les valeurs des termes du premier spectre d'étincelle du mercure. La liste des raies classées par ces auteurs à l'aide de ces termes est en très bon accord

---

(1) *Proc. Roy. Soc.* (Londres), A, 134, 1931, p. 41.

avec les résultats de nos observations, sauf pour quatre raies d'intensité moyenne que nous attribuons au spectre Hg III. Ils signalent en outre que certains termes trouvés par S.-M. Naudé ([1]) leur paraissent inexacts; or, parmi les raies classées par S.-M. Naudé à l'aide de ces termes, nous trouvons les raies suivantes qui appartiennent sans aucun doute au spectre Hg IV :

1.....	4521,25	8.....	3522,34	3.....	3332,36
2.....	4420,24	3.....	3418,69	1.....	3293,87
1.....	4032,88	3.....	3402,16	2.....	3186,81
0.....	3942,59	3.....	3382,43	2.....	2957,29

Pour compléter nos observations antérieures, nous avons photographié le spectre du mercure excité par décharge sans électrodes dans l'intervalle spectral 4000 Å-6100 Å à l'aide d'un spectrographe à deux prismes de flint. La liste suivante contient les raies les plus importantes du spectre Hg II qui ne sont pas encore classées et dont l'attribution à ce spectre est certaine :

5......	6017,15	4......	4896,06	5......	4600,59	8......	3904,73
6......	5961,20	6......	4869,92	5......	4557,41	7......	3839,26
4......	5862,33	5......	4866,75	5......	4515,71	6......	3751,78
6d.....	5815,37	3......	4864,60	10......	4487,64	8......	3738,19
6......	5310,16	8......	4855,72	8......	4470,56	7......	3454,36
7......	5280,04	8......	4841,18	9......	4402,06	6......	3436,94
7......	5277,46	9......	4825,60	6......	4385,50	7......	3116,18
9......	5204,68	7......	4812,60	6......	4378,65	7......	3064,56
4......	5060,79	8......	4751,12	7......	4376,22	7......	2973,05
4......	4980,68	9......	4742,42	8......	4336,95	7......	2851,95
9......	4973,66	5......	4705,29	3......	4218,21	7......	2817,87
5......	4898,72	4......	4625,68	10......	4216,76	6......	2809,44
						9......	2761,95

Aux deux termes $M(P_{5/2})$ et $N(D_{5/2})$ que nous avons signalés dans une Note antérieure ([2]) et dont le premier a été retrouvé par Mac Lennan ($9''_{1/2} = 96185$) nous ajouterons trois termes que nous désignerons par

$$R^1_{5/2} = 138720, \qquad R^2_{5/2} = 130137, \qquad R^3 = 79673.$$

Ces valeurs sont calculées en prenant la valeur 0 pour le niveau $6s^2\,S_{1/2}$

([1]) *Ann. der Phys.*, **3**, 1929, p. 1.

([2]) *Comptes rendus*, **192**, 1931, p. 618.

de Hg^{+} et 151280 pour $5d^{10}\,{}^{1}S_{0}$ de Hg^{++}. Les combinaisons trouvées du terme R^{3} ne permettent pas de décider entre les deux valeurs $j = 1/2$ ou $j = 3/2$. Le tableau ci-dessous contient les combinaisons de ces termes avec ceux qui ont été identifiés par Mac Lennan et trois combinaisons nouvelles du terme $N(D_{5/2}) = 144557,5$; cette valeur est en meilleur accord avec les termes calculés par Mac Lennan que le nombre 144556 déduit de celui que nous avons indiqué tout d'abord.

Int.	λ (I. A.).	ν (mes.).	ν (calc.).		
5	5443,06	18366,9	18367	$24^{0}_{1\,1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
9	5216,88	19165,1	19165	$23^{0}_{3\,1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
9	5066,50	19732,0	19734	$22^{0}_{1\,1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
6	4727,29	21147,9	21148	$21^{0}_{1\,1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
0	4536,25	22038,5	22039	$19^{0}_{1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
10	4122,19	24262,1	24252	$15^{0}_{1\,1/2} - R^{2}_{5/2}$	R.
0	3785,12	26411,8	26412	$R^{3} - 15^{0}_{1\,1/2}$	R.
1	3755,15	26622,6	26622	$R^{3} - 17^{0}_{1/2}$	R.
7	3387,01	29516,2	29516	$R^{3} - 21^{0}_{1\,1/2}$	R.
3	3338,45	29945,5	29946	$20^{0}_{3\,1/2} - R^{1}_{j/2}$	R.
2d	3095,34	32397,3	32297	$R^{3} - 24^{0}_{1\,1/2}$	R.
2	2994,43	33385,5	33385,5	$23^{0}_{3\,1/2} - N(D_{5/2})$	R.
6	2809,44	35583,5	35583,5	$20^{0}_{3\,1/2} - N(D_{5/2})$	R.
7	2797,43	35737,5	35737	$12^{0}_{1\,1/2} - R^{1}_{5/2}$	R.
2	2598,45	38473,0	38472,5	$15^{0}_{1\,1/2} - N(D_{5/2})$	D.
4	2390,16	41825,4	41826	$10^{0}_{2\,1/2} - R^{1}_{5/2}$	D.
4	2291,92	43618,1	43618	$8^{0}_{2\,1/2} - R^{1}_{5/2}$	D.
5	2230,04	44828,3	44829	$6^{0}_{1\,1/2} - R^{1}_{5/2}$	D.

(R = Ricard; D = Déjardin.)

RADIATIONS. — *Durée moyenne de vie de l'atome de cadmium dans les états excités* ${}^{3}P_{1}$ *et* ${}^{1}P_{1}$. Note de M. **Paul Soleillet**, transmise par M. Pierre Weiss.

De mes mesures (¹) touchant l'influence du champ magnétique sur la polarisation des radiations émises par résonance optique par l'atome de cadmium et de la théorie faite de ce phénomène par Eldridge (²) et par Breit (³), il résulte que la durée moyenne de vie de cet atome dans

(¹) *Comptes rendus*, **185**, 1927, p. 198; **187**, 1928, p. 212. Voir aussi Ellett, *Physical Review*, **33**, 1929, p. 124 (A).

(²) Eldridge, *Physical Review*, **24**, 1924, p. 234.

(³) Breit, *Journ. of Optical Society*, **10**, 1925, p. 439.

l'état 2^3P_1 est 2.10^{-6} sec, tandis que celle dans l'état 2^1P_1 est de l'ordre 10^{-8} sec. La méthode du jet atomique permet une confirmation de ces résultats. En effet à la vitesse que prévoit la théorie cinétique des gaz pour l'atome de Cd dans la vapeur à une température de 800° absolus cette durée moyenne de vie à l'état 2^3P_1 correspond à un déplacement moyen de 1^{mm} environ tandis que celui relatif à l'état 2^1P_1 est 200 fois plus petit.

Ce phénomène a pu être mis en évidence en éclairant un jet d'atomes de Cd, sortant dans le vide d'un four chauffé à 500°, par un faisceau de lumière excitatrice présentant un aplatissement perpendiculaire à la direction du jet. Cette lumière excitatrice est fournie par un arc dans le vide soufflé magnétiquement. La séparation des deux radiations de résonance 3261 Å et 2288 Å est faite par le procédé de la lentille barrée, un diaphragme placé au voisinage du jet ne laissant passer que l'une ou l'autre des radiations. On photographie le jet dans une direction perpendiculaire à lui et au faisceau excitateur. Voici les résultats des observations :

1° Éclairement par 3261 Å($1^1S_0 - 2^3P_1$). Entre l'excitation et l'émission l'atome demeure à l'état 2^3P_1. Le jet est lumineux à partir de l'endroit où il est éclairé et l'intensité de sa luminosité décroît progressivement dans la direction de la vitesse des atomes. Elle devient imperceptible après 3 ou 4^{mm}.

2° Éclairement par 2288 Å($1^1S_0 - 2^1P_1$). Pendant l'excitation l'atome est à l'état 2^1P_1. Le jet n'est lumineux que dans la région où il est éclairé.

On a ainsi une confirmation directe des résultats tirés de l'étude de la polarisation et de la théorie de ce phénomène.

CHIMIE PHYSIQUE. — *Méthode physique pour le dosage du chlorure de potassium dans les sylvinites.* Note de MM. **E. Cornec** et **H. Krombach**, présentée par M. G. Urbain.

Les sylvinites sont, d'une manière approchée, des mélanges de chlorure de potassium, de chlorure de sodium et de matières insolubles dans l'eau. Seul des substances citées, le chlorure de potassium se dissout par agitation avec une solution saturée de chlorure de sodium. La dissolution du chlorure de potassium, comme le montre le diagramme de solubilité, entraîne une précipitation de chlorure de sodium. La dissolution se fait avec absorption de chaleur, la précipitation avec dégagement de chaleur, le premier effet l'emporte sur le second et l'on observe un abaissement de température. On

mesure l'abaissement et l'on en déduit la teneur de la sylvinite en chlorure de potassium que l'on exprime comme d'habitude en K^2O.

La solution saturée de chlorure de sodium à 20° est placée dans un vase Dewar; on ajoute la sylvinite à la même température. Grâce à un agitateur à palette, faisant 400 tours à la minute, la dissolution du ClK et la précipitation de ClNa sont complètes, même dans les cas les plus défavorables, en moins de 5 minutes. La sylvinite, généralement en poudre très fine, se mouille mal, une partie flotte parfois à la surface, s'imbibe lentement, et ne tombe que peu à peu dans la solution; on remédie à ce grave inconvénient en enfermant la sylvinite dans un petit sac en papier Joseph qui est immédiatement déchiré par l'agitateur. Nous employons 100^{cm^3} de solution saturée de ClNa et de 10^g de sylvinite (en prenant 12^g on pourrait atteindre, dans certains cas, la saturation en ClK). On trace une courbe de refroidissement pour avoir l'abaissement correct. Chaque appareil est caractérisé par l'abaissement que donnent 10^g de chlorure de potassium pur pour 100^{cm^3} de solution (3°,83 pour notre appareil). Par raison de commodité le thermomètre au 1/100, l'agitateur et le bouchon du Dewar sont à poste fixe, seul le Dewar est mobile.

En étudiant des mélanges en proportions variables des deux chlorures purs, nous avons reconnu que l'abaissement était à peu près proportionnel à la teneur en chlorure de potassium. En admettant une proportionnalité rigoureuse, les erreurs ne dépassent pas 0,3 pour 100 de K^2O. La substitution d'insoluble au chlorure de sodium entraîne, en raison de l'inégalité des chaleurs spécifiques, une modification de l'abaissement, mais le calcul montre que cette modification est négligeable; donc l'insoluble et le chlorure de sodium se comportent pratiquement de la même manière.

La méthode, appliquée à des sylvinites et à des produits fabriqués industriellement, provenant des Mines Domaniales de Potasse d'Alsace, a fourni les résultats inscrits dans la partie gauche du tableau. Dans un seul cas la différence entre ce nombre et ceux obtenus par la méthode à l'acide perchlorique atteint 1 pour 100.

Les différences étant toujours de même signe et plus grandes pour les produits pauvres, qui sont en même temps ceux qui renferment, outre l'insoluble, le plus d'impuretés (Ca, Mg, SO^4), on est conduit, pour améliorer les résultats, à admettre une variation linéaire de l'abaissement entre le chlorure de potassium pur et une sylvinite pauvre. Dans ce cas, l'étalonnage de l'appareil se fait non pas uniquement avec le chlorure de potassium pur, mais aussi avec une sylvinite pauvre.

Les valeurs inscrites dans la partie droite du tableau ont été obtenues en prenant pour base la sylvinite la plus pauvre, 13,41 pour 100 de K^2O, qui donnait dans notre appareil un abaissement de 0°,755 (les résultats seraient peu modifiés en prenant pour base une autre sylvinite pauvre).

Pourcentage en K^2O *des sylvinites et produits fabriqués.*

	Méthode			
Différences.	par dissolution.	à l'acide perchlorique.	par dissolution (modifiée).	Différences.
−0,19	62,35	62,54	62,36	−0,18
−0,37	61,33	61,70	61,36	−0,34
−0,08	60,42	60,50	60,47	−0,03
−0,45	52,32	52,77	52,53	−0,24
−0,42	49,90	50,32	50,15	−0,17
−0,67	47,01	47,68	47,32	−0,36
−0,52	44,17	44,69	44,53	−0,16
−0,51	41,04	41,55	41,46	−0,09
−0,41	34,69	35,10	35,23	+0,13
−0,84	28,75	29,59	29,40	−0,19
−0,79	19,46	20,25	20,29	+0,04
−1,00	13,89	14,89	14,82	−0,07
−0,77	13,69	14,46	14,63	+0,17
−0,96	12,45	13,41	13,41	0

Les différences sont alors beaucoup plus faibles : la plus grande est 0,36 pour 100.

On voit qu'au point de vue de la précision, la méthode par dissolution, modifiée comme il a été dit, se rapproche de la méthode à l'acide perchlorique. La méthode est rapide ; un dosage dure une demi-heure.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur l'anhydrite et sa formation.* Note de M. **Louis Chassevent**, présentée par M. H. Le Chatelier.

MM. Jolibois et Lefebvre (1) ont indiqué que le chauffage du sulfate de calcium anhydre préparé à basse température donne lieu à un phénomène exothermique vers 365°. Cette température est sensiblement celle à laquelle la rehydratation du sulfate de calcium cesse d'être rapide, ainsi que je l'ai montré précédemment (2). Le sulfate anhydre obtenu par déshydratation du gypse dans un courant d'air sec au-dessous de 300° (anhydrite soluble) se transforme instantanément au contact de l'eau en semi-hydrate, puis en gypse en une heure environ. Le sulfate cuit au-dessus de 300° a les mêmes

(1) Jolibois et Lefebvre, *Comptes rendus*, 176, 1923, p. 1476.

(2) Chassevent, *Annales de Chimie*, 10e série, 6, 1926, p. 277.

propriétés que l'anhydrite naturelle qui ne se transforme en gypse au contact de l'eau qu'avec une extrême lenteur.

D'autre part Van't Hoff (1) a montré que le sulfate de calcium anhydre insoluble (anhydrite naturelle) est stable au contact de l'eau au-dessus de 63°. Ce résultat, associé au fait que l'anhydrite naturelle ne semble pas avoir pris naissance à haute température, demande à être raccordé avec les résultats de MM. Jolibois et Lefebvre. Ces auteurs indiquent en effet que l'anhydrite insoluble est un produit formé à haute température et fixent la température de transformation à 365°.

Le but de cette Note est de montrer que la contradiction n'est qu'apparente; la transformation observée vers 300° dans l'air sec a lieu à une température beaucoup plus basse en présence d'un catalyseur. Le catalyseur que j'ai employé est la vapeur d'eau.

J'ai d'abord vérifié, par une méthode gravimétrique indiquée précédemment (2), que le sulfate anhydre obtenu par cuisson du gypse dans un courant d'air sec au-dessous de 300° est transformé totalement en gypse au contact de l'eau après 2 heures 30. La même durée de séjour dans l'eau d'un échantillon cuit à 340° n'amène que la réhydratation de 35 pour 100 du produit ainsi que le montrent les résultats suivants :

Réhydratation dans l'eau du sulfate de calcium obtenu par cuisson du gypse dans un courant d'air sec.

Température de cuisson.	Cuisson.		Réhydratation au contact de l'eau. — Nombre de molécules d'eau combinée après		
	Durée de cuisson.	Produit obtenu.	2 h. 30.	1 jour.	3 jours.
150°......	2 h.	SO^4Ca 0,048 H^2O	1,98 H^2O	1,98 H^2O	
150°......	48 h.	0,035 H^2O	2 H^2O	2 H^2O	
240°......	2 h.	0	1,99 H^2O	2	
340°......	2 h.	0	0,70	1,34	1,92 H^2O

Si l'on renouvelle les expériences non plus dans un courant d'air sec mais dans un courant de vapeur d'eau, on constate que le gypse est totalement transformé en sulfate anhydre dès la température de 150°, à condition de prolonger la cuisson pendant 48 heures. De plus l'anhydrite obtenue dans ces conditions est de l'anhydrite insoluble qui n'est pas complètement réhydraté après 14 jours de contact avec de l'eau ainsi que le montrent les résultats suivants :

(1) Van't Hoff, *Zts. f. phys. Chemie*, 45, 1903, p. 257.
(2) Chassevent, *Annales de Chimie*, 10e série, 7, 1927, p. 46.

Réhydratation dans l'eau du sulfate de calcium obtenu par cuisson du gypse dans un courant de vapeur d'eau.

Température de cuisson.	Cuisson. Durée de cuisson.	Cuisson. Produit obtenu.	Réhydratation. Nombre de molécules d'eau combiné après 2 h. 30.	3 jours.	14 jours.	28 jours.
150°.......	2 h.	SO^4Ca 0,39 H^2O	1,99 H^2O	2,01	–	–
150°.......	48 h.	0,07	0,16	0,67	1,91	1,95
225°.......	2 h.	0,02	0,92	1.98	–	
220–240°...	48 h.	0	–	0,20	1,27	1,86

On obtient d'ailleurs les mêmes résultats, que l'on parte comme produit initial du gypse, du semi-hydrate ou de l'anhydrite soluble.

Ces expériences montrent que l'eau peut jouer le rôle de catalyseur dans la formation de l'anhydrite insoluble, qui est bien le corps stable déjà à 150°. Il semble donc que la contradiction apparente entre les résultats de Van't Hoff et ceux de MM. Jolibois et Lefebvre disparaisse. Ces derniers auteurs ont réalisé des transformations rapides et non catalysées. Au contraire, en maintenant le gypse pendant un temps très long en présence de vapeur, d'eau chaude ou de solutions salines, l'anhydrite insoluble apparaît à basse température et il semble que ce soit là le mécanisme de sa formation géologique.

CHIMIE MINÉRALE. — *Sur le carbonate cuivrique.* Note de M. V. **Auger** et Mme **Poulenc-Ferrand**, présentée par M. G. Urbain.

Le carbonate de cuivre normal CO^3Cu aurait été préparé en 1926 par Benrath et Essers [1] en hydrolysant un carbonate cupripotassique dans un milieu contenant les sels CO^3K^2 et CO^3KH en proportions variables.

Comme l'un d'entre nous [2], en opérant dans des conditions peu différentes, n'avait obtenu que de la malachite ou de l'azurite, il nous a paru utile de répéter les expériences de ces chimistes.

Notons tout d'abord que les analyses qu'ils ont publiées ne représentent aucunement la formule qu'ils ont adoptée : ils indiquent, en effet :

	Trouvé.	Calculé pour CO^3Cu.
Cu pour 100..............	34,37	34,67
CO^3 »	64,98	65,57

(1) Benrath et Essers, *Zeit. anorg. Chem.*, 151, 1926, p. 38.

(2) V. Auger, *Comptes rendus*, 158, 1914, p. 944, et *Bull. Soc. chim.*, 15, 1914, p. 500.

tandis que, pour la formule CO^3Cu, le calcul conduit à Cu 51,41 pour 100; CO^3 48,58 pour 100.

Le produit analysé est décrit comme une poudre amorphe, vert herbe, très instable à l'air; il ne présentait aucune garantie de pureté.

Par suite de confusions et d'erreurs bibliographiques commises par les auteurs dès le début de leur travail, il nous a été impossible de déterminer le sel cupripotassique qui a servi à leurs expériences; nous avons expérimenté sur les deux carbonates doubles bien cristallisés actuellement connus, qui représentent deux espèces chimiques homogènes : le sel bleu foncé $(CO^3)^2CuK^2$ et le sel bleu clair, formulé par Gröger

$$9CO^2.8CuO.2K^2O.17H^2O.$$

Tous les essais furent effectués en suivant les indications de Benrath et Essers; ils ont conduit, suivant le taux de l'hydrolyse, soit à des sels doubles hydratés tels que $(CO^3)^2CuK^2, H^2O$, soit à des sels plus basiques, et par hydrolyse complète, à des rognons cristallins verts de malachite.

Nous n'avons pas tenu compte du sel bleu foncé $(CO^3)^4CuK^6$ décrit par les auteurs qui n'ont pas fourni leurs résultats d'analyse, car nous avons constaté qu'il était identique au sel $(CO^3)^2CuK^2$.

Dans une seconde Note : *Sur les sels basiques*, Benrath (¹), se basant sur les résultats erronés de la première Note, présente la suite des équilibres suivants, entre les carbonates cuivriques et leurs sels doubles :

$$(CO^3)^4CuK^6 \rightleftharpoons (CO^3)^2CuK^2 \rightleftharpoons CO^3Cu \rightleftharpoons CO^3(CuOH)^2.$$

Ce tableau ne peut être pris en considération puisque les premier et troisième membres n'existent pas, et qu'en outre l'azurite $(CO^3)^2Cu(CuOH)^2$ n'y est pas représentée.

L'auteur nous apprend, il est vrai, que « le carbonate normal de cuivre humide, laissé à l'air, forme bien tout d'abord de l'azurite par perte de CO^2, mais que ce composé est métastable et ne peut être obtenu que sous haute pression de CO^2 ». Il n'a évidemment pas eu connaissance de la Note (²) relative à la formation d'azurite, par carbonatation de la malachite et des carbonates doubles de cuivre en présence d'eau, au moyen de CO^2 sous une pression bien inférieure à 760^{mm}.

En résumé, le carbonate cuivrique normal CO^3Cu n'a pas encore été obtenu; il nous apparaît même que les méthodes par voie aqueuse ne sont

(¹) **Benrath**, *Zeit. anorg. Chem.*, 154, 1926, p. 437.

(²) V. **Auger**, *loc. cit.*

guère susceptibles d'en fournir. Les essais devront probablement être effectués dans des milieux anhydres, et même, autant que possible, avec des solvants ne possédant pas de groupes hydroxyles.

GÉOLOGIE. — *Sur le Crétacé et le Nummulitique dans le Rif oriental.* Note de M. J. **Marçais**, présentée par M. Ch. Jacob.

Le Crétacé a déjà été signalé dans le Rif oriental[1]. J'en ai reconnu récemment des affleurements nouveaux et j'ai pu étudier la façon dont le Nummulitique lui fait suite et s'étend dans le Nord de la région couverte par les Feuilles Boured nos 2, 3, 4, 6, 7 et 8, au 1/100000e.

La plus grande partie du pays, entre Aknoul et Bab Termas, est constituée par des marnes schisteuses, dans lesquelles s'interstratifient des bancs calcaires, blanchâtres en surface, mais dont la cassure est d'un gris bleuté. Ceux-ci m'ont fourni : en 431-636, *Mortoniceras Royssianum* d'Orb. sp., *Kosmatella* cf. *Agassiziana* Pict. sp.; en 431-644 et en 435-649 (gisements qui m'ont été indiqués par M. P.-V. Duhoux) : *Mortoniceras inflatum* Sow. sp., *K.* cf. *Agassiziana* Pict. sp. et *Puzozia Mayoriana* d'Orb. sp.; enfin, en 441-650 : *Acanthoceras* aff. *rotomagense ?* et, en 431-616 : *M. inflatum* Sow. sp.

Aucun de ces gisements, de même que les mauvais restes recueillis plus au Nord, ne paraît indiquer d'étage supérieur au Vraconnien ou au Cénomanien tout au plus; il est néanmoins très probable que le Crétacé supérieur existe dans la série, car, en 444-641, dans un banc de calcaire fin au-dessus des couches à Ammonites, on trouve de petites Huîtres vraisemblablement sénoniennes, et d'innombrables prismes d'Inocérames, en lits réguliers et calmes, apparaissent au microscope dans la roche. J'ai retrouvé ce faciès au Nord de Boured. De plus, des marnes grises schisteuses m'ont fourni, en 460-647, sous le Nummulitique, des empreintes d'Inocérames, que M. Heinz a bien voulu examiner et où il a reconnu des formes sénoniennes (*Bœhmiceramus* cf. *böhmi* Heinz). Enfin, en 650-446, un Échinide (*Lambertiaster Douvillei* Gauth.), déterminé par M. Lambert, indique le Maestrichtien.

---

(1) P. et L. Russo, *Recherches géologiques sur le Nord-Est du Rif* (*Mém. Soc. Sc. nat. du Maroc*, 20, 1929, p. 93); J. Marçais, *Observations sur la géologie de la région de Tizi Ouzli* (*Comptes rendus*, 192, 1931, p. 757); J. Marçais, Duhoux et Lecwijck, *Sur la présence du Crétacé inférieur dans la partie méridionale du Rif oriental* (*C. R. somm. Soc. géol. de Fr.*, 1931, p. 119-121).

Le Crétacé couvre donc de vastes surfaces dans le Rif oriental avec des faciès, qui se répartissent, du Sud vers le Nord, de la façon suivante :

1° Des marnes à fossiles pyriteux représentent le Crétacé inférieur à faciès profond entre les ordonnées 420 et 445;

2° A ces marnes succède, à partir de l'Albien supérieur, suivant la ligne Tizroutine, Bab Termas, En Nehir, un faciès marno-schisteux à bancs calcaires; et ce faciès comprend probablement presque tout le Crétacé, au moins depuis le Barrémien jusqu'au Sénonien, dans la région comprise entre Aknoul, Tizroutine et Bab Termas;

3° Vers le Nord et Nord-Ouest, toute la série devient schisteuse (zone des schistes dits lustrés du Dr Russo), et seuls, de place en place, quelques rares fossiles permettent d'affirmer la présence du Crétacé.

Le Nummulitique transgressif recouvre ensuite la série, comme vient de l'indiquer J. Lacoste pour une région plus occidentale ([1]). La transgression paraît dans l'ensemble débuter au Lutétien inférieur. Vers le Sud, L. Gentil ([2]) la fait commencer dès le Thanétien.

Vers le Sud et vers l'Est, les faciès sont du type prérifain, bien connu grâce à F. Daguin. Ainsi, au Djebel En Nehir, le Lutétien détritique et glauconieux repose sur les couches à *M. inflatum*; puis viennent les marnes blanches éocènes à silex.

Au Nord, le Flysch éocène couvre de vastes étendues entre l'ordonnée 445 et la frontière espagnole. Ce Flysch débute, en 470-660 et en 464-622, par un petit conglomérat de base *irregularis*. Généralement constitué par des calcaires marneux noirâtres, finement lités, à empreintes de pistes et à lits de silex, il nous a fourni des Foraminifères examinés par MM. Douvillé et Doncieux. Ils y ont reconnu : au Nador, *Nummulites irregularis* Desh., *N. globulus* Leym., *N. granifer* Douv. (B et A), *Assilina granulosa* Leym., et au Berkane, *N. irregularis* Desh., *N. atacicus* Leym., faune qui indique le Lutétien inférieur.

Le Flysch peut passer latéralement à un faciès très voisin des marnes blanches prérifaines, comme cela se produit en 436-648. La discordance angulaire avec les couches sous-jacentes, peu nette vers l'Est, est plus sensible vers l'Ouest. Des marnes noires, à peine schisteuses, succèdent à l'Éocène et des bans de grès, du type de l'*arenisca del aljibe*, s'y intercalent

---

([1]) J. Lacoste, *Obsesvations sur la série nummulitique prérifaine et rifaine méridionale* (*Comptes rendus*, 194, 1932, p. 112).

([2]) L. Gentil, *Notes d'un voyage géologique à Taza* (*Bull. Soc. géol. Fr.*, 4e série, 18, 1918, p. 164).

vers le sommet au Djebel Berkane, au Nador et à l'Est de Taher Souk. En coupe mince, les grès se montrent formés de grains de quartz et d'un ciment siliceux. M. Cayeux, après examen de mes plaques, insiste sur l'inégalité des grains et sur leur origine éolienne probable. Il s'agit sans doute là d'un grès fluviatile. Apparaissant à la fin des marnes noires vraisemblablement oligocènes, et situés sous le Miocène à Taher Souk, ces grès représentent probablement un faciès continental et lenticulaire de l'Aquitanien et peut-être aussi du Miocène inférieur.

La présence d'une couverture nummulitique continue dans la région centrale du Rif oriental et le fait que l'on retrouve du Crétacé en place sous le Nummulitique au Sud des Senhadja (Djebel En Nehir) me paraît difficilement conciliable avec l'hypothèse formulée par M. et Mme Russo (*loc. cit.*, p. 143), d'une nappe nummulitique venue du Boccoya.

GÉOLOGIE. — *Sur les accidents de la bordure occidentale des* Barres *jurassiques entre Belgentier et Néoules* (*Var*). Note de M. **Antonin Lanquine**, présentée par M. Ch. Jacob.

Au-dessus de la vallée du Gapeau et au nord du village de Belgentier se dresse une *barre* calcaire, d'une altitude moyenne de 570 à 600m, qui se prolonge vers l'E et le NE au-dessus du grand vallon de la Foux jusqu'au culminant du Pilon Saint-Clément (altitude 704m,9) et, avec quelque atténuation dans ses abrupts, tourne ensuite vers l'W pour dominer le village de Néoules et la dépression triasique de Méounes. Ces contours, en forme de falaise, de Bathonien supérieur, encerclent ainsi une sorte de large massif occupé au sommet par un étalement de dolomies néojurassiques sous lesquelles se placent les niveaux bathoniens, bajociens et liasiques représentés dans la région. C'est ce que figure la feuille de Toulon au 1/80000 de la Carte géologique et rien d'anormal ne semble apparaître sur le pourtour de ces barres, si ce n'est, vers la bordure occidentale, un singulier croissant de Jurassique surmonté de Crétacé inférieur qui domine au N le vallon des Rampins et qu'entoure une faille sinueuse séparant ce paquet du Trias, faille signalée par Marcel Bertrand et mentionnée par Émile Haug dans son Interprétation tectonique des environs de Méounes et de Garéoult [1].

---

[1] Émile Haug, *Sur la fenêtre de Méounes et de Garéoult* (*Var*) (*Comptes rendus*, 153, 1911, p. 1186-1188).

En effectuant des levés géologiques précis sur les plans directeurs au 1/10000e, j'ai étudié avec attention le pourtour du large massif en question. Sauf quelques rectifications, il n'y aura pas lieu de modifier l'allure des Dolomies supérieures qui recouvrent directement le Bathonien calcaire. Mais il n'en est pas de même pour la bordure.

La faille simple figurée à l'est de Belgentier et dirigée W-E doit être reportée plus au Sud. Elle longe au Nord l'éperon rocheux du Jas des Cabrides dont la partie supérieure, formée d'Aalénien, domine le Bathonien marneux avec un chevauchement apparent. Vers l'Est, un accident, de même nature et de même direction, montre le Bathonien marneux s'enfonçant sous l'Hettangien qu'on retrouvera au nord de la dépression de la Barbude. Cet Hettangien est, d'ailleurs, chevauché localement par du Rhétien, le long d'un contact toujours orienté W-E dans la fermeture occidentale de la dépression. Le décollement que j'ai étudié antérieurement [1] au voisinage de la Barbude se poursuit donc jusqu'aux environs immédiats de Belgentier.

Mais des accidents plus importants s'observent au nord de ce village jusqu'à Néoules. C'est une première dislocation, tout d'abord, entre les parties hautes du vallon de Pachoquin et celui des Rampins. On remarque là un enfoncement local du Bathonien calcaire et du Bathonien marneux qui ferment au Sud le haut plateau de Planesselve, sous des calcaires rhétiens, plongeant fortement au SW, qui couronnent le monticule coté 377,4.

Une seconde anomalie apparaît autour du paquet jurassique mentionné ci-dessus au nord du vallon des Rampins. Sur son bord sud, ce paquet formé de calcaires blancs et de dolomies portlandiens (plateau coté 408,1-406,8) repose directement sur le Toarcien et l'Aalénien, plongeant au SSW, qui constituent la tête du ravin des Rampins. En plusieurs points, un broyage souligne ce contact. Sur le bord est, les Dolomies recouvrent directement une étroite bande, orientée N-S de Bathonien marneux, sans interposition de Bathonien calcaire. Au Nord, les mêmes Dolomies surmontent de nouveau un Lias supérieur étiré et redressé, puis, en descendant sur le flanc occidental des collines, une large bande hettangienne, toujours dirigée N-S et plongeant à l'Est. A l'Ouest, et sur la croupe du nord des Tuves, un petit affleurement d'Éocrétacé, calcaires

(1) Antonin Lanquine, *Sur les décollements de base de la Série secondaire entre Cuers et Pignans (Var)* (*C. R. Assoc. franç. Avanc. Sc.*, Congrès de La Rochelle, 1928, p. 338-342, Paris, 1929).

et marnes verdâtres à Ostracés, portant un peu d'Urgonien, vient, en repos normal, avec des couches très inclinées vers l'Ouest, sur les Dolomies néojurassiques, mais l'ensemble surmonte toujours l'Hettangien, puis un Rhétien très étiré et enfin un anticlinal triasique à noyau de Muschelkalk. Une surface de décollement évidente forme donc la base de ce paquet jurassique.

Depuis ce point jusqu'aux environs de Font Gayaou au sud de Néoules, d'autres faits intéressants se montrent dans la dépression de Planesselve, sous le manteau quaternaire qui couvre cette haute plaine. Ce sont des bandes étirées, plongeant toutes *les unes sous les autres* vers l'est et le sud-est, de Lias, de Bajocien, de Bathonien marneux en *répétitions isoclinales*. Je ne citerai, à titre d'exemple, qu'une succession, celle qu'on coupe entre le petit col à l'est de la Poulaque et la bastide de Planesselve, de l'Ouest à l'Est : Domérien supérieur, Toarcien, Aalénien, Bajocien, Bathonien marneux; Toarcien, Domérien, Hettangien : Bathonien marneux, Bathonien calcaire. *Ce régime caractérise ici toute la bordure des Barres* jusqu'au delà de Néoules.

Quant au Trias de Méounes, son terme supérieur, le Keuper, *s'enfonce partout*, le long de cette bordure, sous le Rhétien. Je reviendrai plus tard sur son allure vers l'Ouest sur les bords du massif jurassique de Vigne-Groussière et d'Agnis.

Les accidents que je viens d'énumérer montrent l'importance et le relais, à des niveaux variés, des phénomènes de décollement sur toute la bordure du massif jurassique entre Belgentier et Néoules. Il convient de les rapprocher de ceux que j'ai décrits sur le pourtour sud-est du même massif aux environs de Cuers.

GÉOLOGIE. — *Sur l'extension vers le Sud-Est des chevauchements marginaux de la chaîne calcaire du Rif espagnol.* Note de M. **P. Fallot**, présentée par M. Ch. Jacob.

J'ai signalé [1] les contacts anormaux du Jurassique de la bordure de la chaîne calcaire rifaine avec le Flysch rose, depuis la Cudia Tadrart jusqu'à Ayaden, et relevé le fait qu'à hauteur de Bab Amaregaout, ce contact semblait redevenir tout à fait normal. Grâce à l'amabilité de M. da Casa, directeur des Travaux publics, j'ai pu faire de la Maison des Travaux publics de Bab Taza le centre de mes excursions de cet automne et constater

---

[1] *Comptes rendus*, 193, 1931, p. 245.

que, au Sud-Est du Col de Bab Amaregaout, où s'affirme le pendage régulier du Jurassique sous le Flysch, cette disposition qui reproduit celle qui apparaît à Xauen, se poursuivait jusqu'à la terminaison du pli formant cette bordure externe de la chaîne, vers el Had de Beni Derkoul.

Par contre l'O. el Had, qui a creusé sa vallée longitudinale du pied Nord du Dj. Khmès jusqu'à hauteur du Dj. Amatras, où il oblique au Sud pour pénétrer dans la zone bordière de Flysch, entame, dès le pied du Dj. Khmès, le Flysch formé de couches roses du type commun et de grès bruns. A première vue, ce Flysch semble apparaître en fenêtre. Les détails du contact sont toutefois ambigus.

Au pied du Dj. Khmès, en effet, on pourrait attribuer le contact Jurassique-Flysch à une faille parallèle à la vallée et en formant le bord. Au flanc Nord-Est de la vallée, le versant du Dj. Beni Mhamed montre une cascade de plis descendant vers la vallée, axés Sud-Est-Nord-Ouest.

L'affleurement du Flysch du fond de cette dépression s'élargit rapidement vers le Sud-Est. A hauteur du point nommé Taznit sur la carte française, le massif calcaire qui prolonge le Dj. Beni Mhamed montre un contact franchement anormal entre sa masse calcaire et dolomitique et le Flysch, qui d'ailleurs atteint déjà une assez grande hauteur. Plus au Sud-Est, le Dj. Adeldane, qui prolonge tout ce chaînon calcaire, est formé de calcaires pendant franchement au Sud-Ouest dont l'ensemble s'enfonce très normalement *sous* le Flysch de la vallée. Le prolongement de ce contact normal nous amène, en deux kilomètres, à la bordure Jurassique suivie par le haut O. el Jemis, où nous avions déjà observé ce contact normal, MM. Marin, Blumenthal et moi [1].

Sauf en ce qui concerne certains dispositifs locaux, le Flysch du haut O. el Had semble donc correspondre en définitive à une zone synclinale de la chaîne, soulignée d'une cassure longitudinale [2]. Le chaînon jurassique, qui le sépare de la bordure nummulitique de Beni Derkoul, est précisément ce chaînon anticlinal dont nous avons noté, en 1930, l'ennoiement vers le Sud-Est au Nord de El Had. Son extrémité est coupée de failles et tronçonnée par un accident transversal qui fait affleurer un coin de Flysch en direction transversale par rapport à la crête.

---

[1] A. Marin, M. Blumenthal et P. Fallot, *Observations géologiques sur le Nord-Ouest du Rif marocain* (*Bull. Soc. géol. Fr.*, 4e série, 30, 1930, p. 659-735).

[2] *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 190, schéma géologique. Cette disposition des affleurements a été figurée dans la partie Ouest du croquis.

Le contact du Jurassique avec le Flysch, à l'extrémité même de l'éperon, est aussi accompagné de cassures. Ces divers accidents de détail ne suffiraient pas à contredire notre interprétation; mais, d'une part, à mi-flanc Nord-Est du Dj. Beni Mhamed, apparaît une bande de Flysch qui semble subordonnée au Jurassique formant cette montagne et serait de nature à faire supposer que le Flysch passe bien sous ce massif pour réapparaître dans la haute vallée de l'Oued el Had; d'autre part, le sommet qui s'élève entre le Dj. Adeldane et l'Oued el Had, sur le prolongement de l'arête du Dj. Amatres, et dont la base est entièrement formée du Flysch de la vallée, est couronné par des dolomies et calcaires du Jurassique; enfin les calcaires lités qui forment la cime du Dj. Khmès m'ont fourni des calcaires en plaquettes où de mauvais débris de Bivalves, déterminés par M. Dubar, ont révélé : *Cardita austriaca* Hauer, *C. munita* Stop., *Anomia Schafhaütli* Winckler, *Rhynchonella* cf. *Deffneri* Opp., ainsi que deux fragments que l'on pouvait rapporter avec doute à *Avicula contorta* Portl. Même sans ces derniers, l'âge rhétien est établi. Le sommet de cette montagne serait donc taillé dans un flanc renversé.

Même si l'anticlinal du Dj. de Beni Derkoul était, selon les apparences, un pli régulier simplement faillé longitudinalement selon le bord Sud du haut O. el Had, il y aurait donc dans cette partie de la chaîne des dislocations relativement importantes, savoir le témoin couronnant le Flysch de l'extrémité de l'arête du Dj. Amatras et la série inverse du sommet du Dj. Khmès, qui impliquent une unité chevauchante, à peu près détruite par l'érosion. Il y aurait aussi la bande de Flysch probable d'Izilane, au haut du bassin de réception de l'O. Izilane, qui impliquerait une série subordonnée à celle qui constitue l'arête Dj. Beni Mhamed, Taznit-Dj. Adeldane, peut-être en corrélation avec le Flysch de l'O. Bou Zlef mentionné précédemment [1].

Il serait prématuré d'effectuer des raccords d'ensemble et l'explication de ces anomalies apparentes ne pourra être tentée que lorsque des levers précis sur la nouvelle carte au 1/50000e à paraître auront pu être exécutés.

Je rappellerai seulement que c'est sur le prolongement vers l'Est du Dj. Adeldane que nous avons effectué en 1930, MM. Marin, Blumenthal et moi, la traversée de la chaîne qui nous a donné l'impression d'être formée par une série régulière de Jurassique calcaire et dolomitique, sans renversements ni contacts anormaux. A moins qu'une bande de Flysch pincée

(1) *Comptes rendus*, 194, 1932, p. 552.

sous les dolomies ne nous ait échappé, cet aspect tranquille et normal de la chaîne sur la transversale du Jemis de Beni Selman doit nous inciter à rechercher plutôt les solutions tectoniques simples.

BIOLOGIE GÉNÉRALE. — *La proportion des sexes chez* Galleria melonella. Note de M[lle] **M. Goldsmith**, présentée par M. E.-L. Bouvier.

Le rôle joué par les influences extérieures dans la détermination du sexe a été l'objet de nombreuses recherches, surtout chez les animaux présentant une reproduction cyclique, comme les Cladocères ou les Rotifères. Les Insectes ont été moins étudiés sous ce rapport ; c'est pourquoi il n'est peut-être pas sans intérêt de citer un fait observé au cours des élevages de *Galleria melonella*. Dans les conditions normales de température et de nutrition, les chenilles se transforment en chrysalides trois semaines environ après leur sortie de l'œuf; leur taille mesure à ce moment 30^{mm} environ (température de 30° à 35° et abondance de cire). Si la température devient notablement inférieure à la normale, la croissance de la chenille est arrêtée et la métamorphose retardée.

Mais si, la température restant dans les limites favorables, c'est la nourriture qui fait défaut, un phénomène très différent se produit : les chenilles cessent de grandir, mais se transforment en chrysalides avec une taille qui peut ne pas dépasser le quart de la normale. La taille de l'imago se trouve réduite dans les mêmes proportions. Les papillons présentent, en outre, fréquemment, quelques autres anomalies, portant principalement sur les ailes : ailes tordues, ou réduites, ou présentant des variations de coloration (telles qu'une bande transversale claire), ou une forme exagérément allongée. Mais ce qui distingue ces minuscules papillons, c'est la prépondérance numérique des mâles; tandis que chez les papillons élevés dans les conditions d'existence normales les individus des deux sexes sont en nombre sensiblement égal, ici j'ai trouvé, dans des élevages faits dans les conditions d'une forte pénurie de cire, les chiffres suivants :

Premier lot	10 mâles,	2 femelles
Deuxième lot	26 »	4 »
Troisième lot	22 »	2 »
Quatrième lot	22 »	8 »
Cinquième lot	24 »	2 »
Sixième lot	12 »	1 femelle
Total	116 mâles,	19 femelles

soit 17 pour 100 environ seulement de femelles.

Les œufs pondus par ces femelles sont peu nombreux, mais de taille normale. Les expériences se poursuivent en vue de l'étude des caractères de la deuxième génération.

MÉDECINE EXPÉRIMENTALE. — *Fièvre boutonneuse et « fièvre de Marseille ». Immunité croisée.* Note de MM. **P. Durand** et **J. Laigret**, présentée par M. E. Roux.

La fièvre exanthématique de Marseille a été identifiée par Conseil, du point de vue clinique, à la fièvre boutonneuse. Elles ont d'ailleurs de nombreux caractères communs, en dehors de la clinique. Les deux virus sont pathogènes pour le singe, non pour le cobaye (Burnet et Olmer, P. Durand), les deux ne donnent pas d'immunité contre le typhus (Burnet, P. Durand et Olmer, P. Durand), les deux sont transmis par le Rhipicéphale (P. Durand et Conseil, Brumpt, Joyeux et Pieri), les deux enfin provoquent chez l'homme et même chez le singe une réaction de Weil-Felix positive (Olmer, Burnet et Olmer, P. Durand).

Nous avons pu étudier l'immunité provoquée par le virus de Marseille vis-à-vis du virus tunisien. Les difficultés rencontrées au cours des passages et aussi le petit nombre de malades justiciables de pyrétothérapie que nous avons pu traiter ne nous ont pas permis d'éprouver l'immunité en sens inverse.

Deux malades ont été infectés avec un virus d'origine marseillaise.

Observation I. — Un lot de Rhipicéphales a été recueilli le 3 septembre dans la banlieue marseillaise à l'état de nymphes gorgées. Le 15 septembre, la plupart des nymphes ont donné des adultes. 200 de ceux-ci, mâles et femelles non gorgés, sont lavés à plusieurs reprises à l'alcool, au sublimé à 1 pour 1000, et à l'eau salée stérile, broyés en eau salée stérile et inoculés sous la peau du dément précoce M. b. s. qui fait, après cinq jours d'incubation, une fièvre boutonneuse expérimentale, d'intensité plutôt faible et d'évolution assez courte (8 jours), à éruption discrète mais typique. Convalescence sans incident.

Obvervation II. — Medj. Dément précoce. Reçoit dans la veine, le 22 septembre, 45^{cm^3} de sang citraté du précédent.

Après une incubation de 6 jours, fièvre boutonneuse expérimentale d'intensité moyenne (maximum $40^{o},2$) ayant duré 14 jours, à éruption typique et également moyenne.

Deux autres ont été infectés avec un virus tunisien.

Observation III. — Lou. Dément précoce, inoculé le 21 septembre avec du sang et

du cerveau de gerbilles, infectées à partir d'un cas de fièvre boutonneuse tunisienne naturelle.

Après 7 jours d'incubation, fièvre boutonneuse, d'intensité moyenne (maximum 40°,2), de durée assez courte (10 jours), avec éruption moyenne et typique. Convalescence sans incident.

Observation IV. — Xib. Dément précoce, inoculé le 21 septembre avec du sang et du cerveau de rats, infectés par le même virus que les gerbilles de l'observation précédente.

Après une incubation de 7 jours, fièvre boutonneuse, d'intensité assez faible (moyenne 39°,4), de durée moyenne (10 jours), à éruption discrète mais typique.

Le virus, utilisé pour les réinoculations, a pour origine un cas de fièvre boutonneuse naturelle, survenu aux environs de Tunis. Le malade présentait une maladie typique, avec tache noire, éruption assez intense et réaction de Weil-Felix positive au cours de la convalescence.

Avec le sang de ce malade fut inoculé un paralytique général, qui donna, après une incubation de 7 jours, une fièvre boutonneuse de durée assez courte (7 jours), avec une température atteignant 40°,8, et une éruption assez tardive (5e jour) quoique typique. Le 3e jour de la maladie (8 novembre), on prélève, par ponction veineuse, 300 $^{cm^3}$ de sang qui est citraté et inoculé à dose de 50 $^{cm^3}$ aux malades des observations I, II, III, IV, ainsi qu'à deux autres déments précoces qui servent de témoins.

Les réinoculations ont lieu ainsi : pour Mbs, le 40e jour après la fin de sa première atteinte; pour Medj, le 27e jour; pour Lou et Xib, le 30e jour.

La température de ces quatre sujets, prise régulièrement pendant plus d'un mois, n'a montré aucune élévation anormale.

La virulence du sang utilisé pour les réinoculations est éprouvée, en même temps, par l'observation des deux témoins suivants :

Observation V. — Ben Sel. Dément précoce. Température subfébrile le 16 et le 17, puis ascension à 40°,5 le 18 novembre, en même temps qu'apparaît l'éruption. La fièvre continue, en baissant progressivement, jusqu'au 25 novembre.

Observation VI. — Sass. Dément précoce. Le 18 novembre, ascension thermique à 39°,4, l'éruption débute le même jour et s'accentue les jours suivants. Fièvre un peu au-dessus de 39° jusqu'au 25 novembre.

Les deux témoins ont donc été atteints par une fièvre boutonneuse assez courte, mais tout à fait typique.

Conclusion. — Nous avons observé qu'une première atteinte de fièvre boutonneuse, d'origine tunisienne, laisse, après elle, une immunité complète pour un autre virus tunisien et que, de la même façon, l'immunité au

virus tunisien est obtenue par une première atteinte due à un virus d'origine marseillaise.

A 15h55m l'Académie se forme en Comité secret.

COMITÉ SECRET.

La Section de Mécanique, par l'organe de son Doyen, présente la liste suivante de canditats à la place vacante par le décès de M. *G. Kœnigs :*

En première ligne	M. **Henri Villat**.
En seconde ligne, ex æquo par ordre alphabétique	MM. **Eugène Bertrand de Fontviolant**, **Louis de Broglie**, **Prosper Charbonnier**, **Alfred Liénard**, **Ernest Vessiot**.

Les titres de ces candidats sont discutés.
L'élection aura lieu dans la prochaine séance.

La séance est levée à 17h40m.

A. Lx.

ERRATA.

(Séance du 22 février 1932.)

Note de Mme *Ramart-Lucas*, Parallélisme entre la couleur et la réactivité d'un groupe chromophore :

Page 726, rétablir ainsi le début de la Note :

1. Les formules de structure des molécules organiques mettent en évidence les atomes présents, leur position respective sur le squelette carboné, leur mode de liaison (groupes fonctionnels), mais ne renseignent pas sur la forme vraie des molécules ni sur l'influence réciproque des atomes ou groupes d'atomes. Or le comportement...